Merkblatt 822

Die Verarbeitung von Edelstahl Rostfrei

Informationsstelle Edelstahl Rostfrei

Die Informationsstelle Edelstahl Rostfrei

Die Informationsstelle Edelstahl Rostfrei (ISER) ist eine Gemeinschaftsorganisation von Unternehmen und Institutionen aus den Bereichen
- Edelstahlherstellung,
- Edelstahlhandel und Anarbeitung,
- Edelstahlverarbeitung,
- Oberflächenveredelung,
- Legierungsmittelindustrie und
- Marktforschung für nichtrostende Stähle.

Die Aufgaben der ISER umfassen die firmenneutrale Information über Eigenschaften und Anwendungen von Edelstahl Rostfrei. Schwerpunkte der Aktivitäten sind
- praxisbezogene, zielgruppenorientierte Publikationen,
- Pressearbeit für Fach- und Publikumsmedien,
- Messebeteiligungen,
- Durchführung von Schulungsveranstaltungen,
- Informationen über Bezugsmöglichkeiten von Produkten aus Edelstahl Rostfrei,
- individuelle Bearbeitung technischer Anfragen.

Ein aktuelles Schriftenverzeichnis wird auf Anforderung gerne übersandt.

Impressum

Merkblatt 822
Die Verarbeitung
von Edelstahl Rostfrei
3. überarbeitete Auflage 2001

Herausgeber

Informationsstelle
Edelstahl Rostfrei
Postfach 10 22 05
40013 Düsseldorf
Telefon: 02 11 / 67 07-8 35
Telefax: 02 11 / 67 07-3 44
E-Mail: info@edelstahl-rostfrei.de
Internet: www.edelstahl-rostfrei.de

Redaktion:
Sabine Heinzel M.A., ISER

Fotos

Hans Grimberg Edelstahl GmbH, Sparte Sonderkonstruktion, Essen
Jutec Biegesysteme GmbH, Limburg
Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf
Krupp Thyssen Nirosta GmbH, Krefeld
PSE/Redaktion metallbau, Geretsried
Thyssen Laser-Technik GmbH, Aachen
Trumpf Werkzeugmaschinen GmbH & Co. KG, Ditzingen
Titelfoto:
Jutec Biegesysteme GmbH, Limburg

Autoren

Dipl.-Ing. Eckehard Bettenworth†, Düsseldorf
Dipl.-Ing. Egon W. A. Bovensiepen, Gladbeck
Dipl.-Ing. Winfried Buchwald, Siegen
Dipl.-Ing. Gerhard Butzmann, Düsseldorf
Dr.-Ing. Dieter Grimme, Aachen
Dipl.-Ing. Gerd H. Hunscha, Krefeld
Dr.-Ing. F. Werner Strassburg, Kempen
Dipl.-Ing. Götz Witte, Walldürn

Überarbeitung der 3. Auflage unter Mitwirkung von:
Aloys Eggern, Essen
Max Mörchen, Hattingen
Dr.-Ing. F. Werner Strassburg, Kempen
Arbeitskreis Bauwesen der ISER
Unterausschuß Chemisch-Beständige Stähle im VDEh
Redaktion metallbau, Geretsried

Die in dieser Broschüre enthaltenen Informationen vermitteln Orientierungshilfen. Gewährleistungsansprüche können hieraus nicht abgeleitet werden. Nachdrucke, auch auszugsweise, sind nur mit Genehmigung des Herausgebers gestattet.

Inhalt

Seite

1 Werkstoff ... 2

1.1 Sorteneinteilung von Edelstahl Rostfrei ... 2

1.2 Normen und Regelwerke ... 2

1.3 Lieferformen und Abmessungsbereiche ... 3

1.4 Oberflächenausführungen des Vormaterials ... 3

1.5 Mechanische Eigenschaften und Berechnungswerte ... 4

1.6 Korrosionsbeständigkeit ... 6

2 Trennverfahren ... 6

2.1 Mechanische Trennverfahren ... 6

2.1.1 Schneiden, Nibbeln ... 6

2.1.2 Stanzen, Lochen ... 7

2.1.3 Sägen ... 8

2.2 Thermische Trennverfahren ... 8

3 Spanende Formgebung ... 9

3.1 Bohren ... 10

3.2 Gewindeschneiden ... 11

3.3 Drehen ... 13

3.4 Fräsen ... 14

4 Spanlose Umformung ... 14

Seite

4.1 Abkanten ... 14

4.2 Falzen ... 15

4.3 Rollprofilieren ... 15

4.4 Drücken ... 16

4.5 Tiefziehen ... 17

4.6 Biegen, Rohrbiegen ... 17

5 Wärmebehandlung und Warmformgebung ... 19

5.1 Wärmebehandlung ... 19

5.2 Warmformgebung ... 19

6 Schweißen ... 19

6.1 Schweißeignung und Vorbereitung ... 21

6.2 Lichtbogenhand-schweißen mit umhüllter Stabelektrode ... 21

6.3 Schutzgasschweißen ... 22

6.3.1 Wolfram-Inertgas-Schweißen (WIG) ... 22

6.3.2 Metall-Aktivgas-Schweißen (MAG) ... 23

6.4 Sonstige Schmelz-schweißverfahren ... 23

6.5 Widerstandsschweißen ... 23

6.6 Bolzenschweißen ... 24

6.7 Nachbehandlung von Schweißnähten ... 24

Seite

6.7.1 Mechanische Nachbehandlung ... 24

6.7.2 Chemische Nachbehandlung ... 24

7 Löten ... 25

7.1 Hartlöten ... 25

7.2 Weichlöten ... 25

8 Kleben ... 26

9 Nieten ... 26

10 Druckfügen ... 26

11 Oberflächen-behandlung der Fertigerzeugnisse ... 26

11.1 Mechanische Ober-flächenbehandlung ... 27

11.2 Chemische Ober-flächenbehandlung ... 29

11.2.1 Beizen und Passivieren ... 29

11.2.2 Elektropolieren ... 29

11.2.3 Ätzen, Färben ... 29

11.2.4 Lackieren ... 29

12 Oberflächenschutz ... 30

13 Reinigung und Pflege ... 30

13.1 Grundreinigung ... 30

13.2 Pflege ... 30

14 Literatur ... 31

1 Werkstoff

Edelstahl Rostfrei ist ein in den letzten Jahren zunehmend gefragter Werkstoff. Hinter den gebräuchlichen Bezeichnungen wie V2A, V4A oder INOX steht eine Materialgruppe, die neben hohen Anforderungen an die Korrosionsbeständigkeit auch hygienischen und vor allem ästhetischen Kriterien gerecht wird. Um die unumstrittenen Vorteile uneingeschränkt nutzen zu können, sind die Verarbeitungstechniken den materialtypischen Besonderheiten des Werkstoffs anzupassen.

1.1 Sorteneinteilung von Edelstahl Rostfrei

Edelstahl Rostfrei ist ein Sammelbegriff für rund 120 verschiedene Edelstahlsorten, die folgende Gemeinsamkeiten haben:

- Sie sind mindestens mit 10,5 % Chrom legiert.
- Sie bilden ohne jeden Schutzüberzug unter Sauerstoffeinwirkung eine unsichtbare Passivschicht.

Die nichtrostenden Stähle werden nach ihrem kristallinen Gefüge in Gruppen eingeteilt. Die überwiegend verwendeten Sorten gehören zu den ferritischen Edelstählen (Chrom-Stähle) und vor allem zu den austenitischen Edelstählen (Chrom-Nickel-Stähle und Chrom-Nickel-Molybdän-Stähle). Die unter der Bezeichnung „Duplex-Stähle“ zunehmend eingesetzten Sorten haben ein austenitisch-ferritisches Gefüge.

Sogenannte stabilisierte Edelstähle sind mit Titan oder Niob legiert. Diese Elemente verhindern die Bildung von Chromkarbiden beim Schweißen. Sie sind erforderlich

- bei austenitischen Edelstählen, wenn dickere Erzeugnisse (z.B. Bleche dicker 6 mm, Stäbe dicker 20 mm) geschweißt werden;
- bei ferritischen Edelstählen mit Kohlenstoffgehalt über 0,03 %, wenn geschweißt wird.

In den westeuropäischen Ländern werden alle Stahlsorten mit zwei Bezeichnungen versehen:

- Die **Werkstoffnummer**. Sie wird wegen ihrer Kürze bevorzugt verwendet; Die nichtrostenden Stähle liegen alle im Nummernbereich 1.40.. bis 1.45..
- Der **Kurzname**. Er kennzeichnet bei den nichtrostenden Stählen die chemische Zusammensetzung.

1.2 Normen und Regelwerke

Die Eigenschaften der Stahlsorten und ihrer Erzeugnisformen (Blech, Rohr, Draht etc.) werden in Normen festgelegt. Die für Edelstahl Rostfrei derzeit gültigen Normen sind in **Tabelle 2** aufgeführt.

Für besondere Anwendungen sind außerdem im Stahl-Eisen-Werkstoffblatt SEW 400 – 1997 noch weitere Stähle genormt.

Bei statischer Beanspruchung im Bauwesen ist die „Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung Z-30.3-6 für Bauteile und Verbindungselemente aus nichtrostenden Stählen“ des Deutschen Instituts für Bautechnik, Berlin, heranzuziehen.

Chemische Zusammensetzung und Gruppenbezeichnungen von Edelstahl Rostfrei-Sorten laut Allgem. Bauaufsichtlicher Zulassung Z-30.3-6

Stahlsorte		Chemische Zusammensetzung Massengehalte in %					Untergruppen
Werkstoff-nummer	Kurzname	C	Cr	Mo	Ni	Sonstige	
1.4003 1.4016	X2CrNi12 X6Cr17	≤ 0,03 ≤ 0,08	10,50/12,50 16,00/18,00		0,30/1,00	Mn ≤ 1,50; N ≤ 0,03	ferritische nichtrostende Stähle
1.4301	X5CrNi18-10	≤ 0,07	17,00/19,50		8,00/10,50		austenitische nichtrostende Stähle
1.4541	X6CrNiTi18-10	≤ 0,08	17,00/19,00		9,00/12,00	Ti 5xC bis 0,70	
1.4318	X2CrNiN18-7	≤ 0,03	16,50/18,50		6,00/8,00	N 0,10/0,20	
1.4567	X3CrNiCu18-9-4	≤ 0,04	17,00/19,00		8,50/10,50	N ≤ 0,11; Cu 3,00/4,00	
1.4401	X5CrNiMo17-12-2	≤ 0,07	16,50/18,50	2,00/2,50	10,00/13,00	N ≤ 0,11	
1.4404	X2CrNiMo17-12-2	≤ 0,03	16,50/18,50	2,00/2,50	10,00/13,00	N ≤ 0,11	
1.4571	X6CrNiMoTi17-12-2	≤ 0,08	16,50/18,50	2,00/2,50	10,50/13,50	Ti 5xC bis 0,70	
1.4439	X2CrNiMoN17-13-5	≤ 0,03	16,50/18,50	4,00/5,00	12,50/14,50	N 0,12/0,22	
1.4539	X1NiCrMoCu25-20-5	≤ 0,02	19,00/21,00	4,00/5,00	24,00/26,00	Cu 1,20/2,00; N ≤ 0,15	
1.4565	X2CrNiMnMoNbN25-18-5	≤ 0,03	23,00/26,00	3,00/5,00	16,00/19,00	N 0,30/0,50; N ≤ 0,15	
1.4529	X1NiCrMoCuN25-20-7	≤ 0,02	19,00/21,00	6,00/7,00	24,00/26,00	Cu 0,50/1,50; N 0,15/0,25	
1.4547	X1CrNiMoCuN20-18-7	≤ 0,02	19,50/20,50	6,00/7,00	17,50/18,50	Cu 0,50/1,00; N 0,18/0,25	
1.4462	X2CrNiMoN22-5-3	≤ 0,03	21,00/23,00	2,50/3,50	4,50/6,50	N 0,10/0,22	austenitisch-ferritischer nichtrostender Stahl

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung und Gruppenbezeichnungen von Edelstahl Rostfrei-Sorten

Norm	Ausgabe	Titel
DIN EN ISO 3506-1	1998-03	Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus nichtrostenden Stählen – Teil 1: Schrauben
DIN EN ISO 3506-2	1998-03	Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus nichtrostenden Stählen – Teil 2: Muttern
DIN EN ISO 3506-3	1998-03	Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus nichtrostenden Stählen – Teil 3: Gewindestifte und ähnliche, nicht auf Zug beanspruchte Schrauben
ISO/DIS 3506-4	Entwurf 2001-08	Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus nichtrostenden Stählen – Teil 4: Blechschrauben
DIN EN 10088-1	1995-08	Nichtrostende Stähle – Teil 1: Verzeichnis der nichtrostenden Stähle
DIN EN 10088-2	1995-08	Nichtrostende Stähle – Teil 2: Technische Lieferbedingungen für Blech und Band für allgemeine Verwendung
DIN EN 10088-3	1995-08	Nichtrostende Stähle – Teil 3: Technische Lieferbedingungen für Halbzeug, Stäbe, Walzdraht und Profile für allgemeine Verwendung
DIN EN 10263-5	Entwurf 1997-11	Walzdraht, Stäbe und Draht aus Kaltstauch- und Kaltfließpressstählen – Teil 5: Technische Lieferbedingungen für nichtrostende Stähle
DIN EN 10264-4	Entwurf 1995-10	Stahldraht und Drahterzeugnisse – Stahldraht für Seile – Teil 4: Draht aus nichtrostendem Stahl
DIN 17440	2001-03	Nichtrostende Stähle – Technische Lieferbedingungen für gezogenen Draht
DIN 17455	1999-02	Geschweißte kreisförmige Rohre aus nichtrostenden Stählen für allgemeine Anforderungen – Technische Lieferbedingungen
DIN 17456	1999-02	Nahtlose kreisförmige Rohre aus nichtrostenden Stählen für allgemeine Anforderungen – Technische Lieferbedingungen

Tabelle 2: Normen für Edelstahl Rostfrei (Stand: Dezember 2001)

1.3 Lieferformen und Abmessungsbereiche

Nichtrostende Stähle stehen in allen gebräuchlichen Lieferformen zur Verfügung. Die wichtigsten Produkte sind warm- und kaltgewalzte Bleche und Bänder, nahtlose und geschweißte Rohre sowie Stabstahl und Draht. Die nachstehende Aufstellung gibt einen Überblick über das üblicherweise erhältliche Material.

- Kaltgewalzte Bänder: 0,05 bis 6 mm dick, 3 bis 1.550 mm breit.
- Kaltgewalzte, aus Band geschnittene Bleche: 0,3 bis 6 mm dick, in den üblichen Lagerformaten (1.000 x 2.000; 1.250 x 2.500; 1.500 x 3.000 mm) oder Fixformaten.

Diese beiden Erzeugnisse werden auch mit eingeprägten Mustern als Dessinbleche, aber auch geschliffen oder gebürstet, ggfs. mit abziehbaren Schutzfolien, geliefert.

- Warmgewalzte Tafelbleche: 2 bis 150 mm dick, bis 3.700 mm breit.
- Warmgewalzte Bänder und daraus geschnittene Bleche: 2 bis 10 mm dick, 40 bis 1.600 mm breit.
- Nahtlose Rohre: 0,9 bis 40 mm Wanddicke, 6 bis 1.000 mm Durchmesser.
- Geschweißte Rohre: 0,5 bis 40 mm Wanddicke, ab 6 mm Durchmesser, sowie Vierkantrohre oder andere Querschnitte.
- Gewalzter Stabstahl: 11 bis 250 mm Durchmesser.
- Geschmiedeter Stabstahl: ab 20 mm Durchmesser.
- Gezogener Stabstahl: 1 bis 25 mm Durchmesser.
- Draht gezogen oder gewalzt: 0,01 bis 25 mm Durchmesser.
- Stahlguß: wenige Gramm (Feinguß) bis zu den größten Gußstücken.
- Profile: Warmgefertigte Profile werden vorwiegend als L-, U-, H- und T-Profile erzeugt. Kaltprofile werden aus Blechen und Bändern durch Rollformen, Strangpressen, Abkanten oder Laserschweißen hergestellt.

Weitere Angaben über Zwischen- und Fertigerzeugnisse werden auf Anfrage mitgeteilt.

1.4 Oberflächenausführungen des Vormaterials

Grundsätzlich hat Edelstahl Rostfrei eine metallisch saubere Oberfläche. Ihre Beschaffenheit ist je nach Herstellungsart unterschiedlich. Warm gefertigte Produkte haben z.B. rauhere Oberflächen als kalt gefertigte.

Letztere Ausführung genügt oft schon den Ansprüchen an das Endprodukt. Dann können Schutzfolien aufgebracht werden, um

	DIN EN 10088 Kurzzeichen	Ausführungsart	Oberflächenbeschaffenheit	Erzeugnisform				DIN 17440/41
				F	W	St P	H	
Warmgewalzt bzw. warmgeformt	1U	Warmgeformt, nicht wärmebehandelt, nicht entzundert	Walzzunder	X	X	X	X	a1
	1C	Warmgeformt, wärmebehandelt, nicht entzundert	Walzzunder	X	X	X	X	b (Ic)
	1E	Warmgeformt, wärmebehandelt, mechanisch entzundert	Zunderfrei	X	X	X	X	c1 (IIa)
	1D	Warmgeformt, wärmebehandelt, gebeizt	Zunderfrei	X	X	X		c2 (IIa)
	1X	Warmgeformt, wärmebehandelt, vorbearbeitet (geschält oder vorgedreht)	Metallisch sauber			X		e
Kaltgewalzt bzw. kalt weiterverarbeitet	2H	Kaltverfestigt	Blank	X		X		f (IIIa)
	2C	Kaltgewalzt, wärmebehandelt, nicht entzundert	Glatt, Wärmebehandlungszunder	X				
	2E	Kaltgewalzt, wärmebehandelt, mechanisch entzundert	Rauh, stumpf	X				
	2D	Kalt weiterverarbeitet, wärmebehandelt, gebeizt	Glatt	X		X		h (IIIb)
	2B	Wärmebehandelt, bearbeitet (geschält), mechanisch geglättet	Glatter als 2D			X		n (IIIc)
	2B	Kaltgewalzt, wärmebehandelt, gebeizt, kalt nachgewalzt	Glatter als 2D	X				n (IIIc)
	2R	Kaltgewalzt, blankgeglüht	reflektierend	X				m (IIId)
	2Q	Kaltgewalzt, gehärtet und angelassen, zunderfrei	Zunderfrei	X				
Sonderausführungen bzw. besondere Endverarbeitungen	1G oder 2G	Geschliffen		X		X		o (IV)
	1J oder 2J	Gebürstet oder mattpoliert		X				q
	1K oder 2K	Seidenmattpoliert		X				p (V)
	1P oder 2P	Poliert, Blankpoliert		X		X		p (V)
	2F	Kaltgewalzt, wärmebehandelt, kalt nachgewalzt mit aufgerauhten Walzen	Matt	X				
	1M oder 2M	Gemustert		X				
	2W	Gewellt		X				
	2L	Eingefärbt		X				
	1S oder 2S	Oberflächenbeschichtet		X				
F = Flacherzeugnisse H = Halbzeug		P = Profile St = Stäbe	W = Walzdraht	Für genauere Definition und Randbedingungen siehe DIN EN 10088 Teil 2 und 3				

Tabelle 3: Vergleich der Ausführungsarten und Oberflächenbeschaffenheiten von nichtrostenden Stählen nach DIN EN 10088 Teil 2 und 3 und DIN 17440/41

Beschädigungen während der weiteren Formgebung zu vermeiden.

Im einzelnen sind in der DIN EN 10088 die Ausführungsarten festgelegt und mit Kurzzeichen versehen. Eine Auflistung der wichtigsten Ausführungsarten erfolgt in **Tabelle 3**.

1.5 Mechanische Eigenschaften und Berechnungswerte

Auch über die mechanischen Eigenschaften geben die Normen die notwendigen Hinweise. Bei Verwendung im Bauwesen ist zusätzlich die „Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung Z-30.3-6“ zugrunde zu legen, wenn die Bauteile eines statischen Nachweises bedürfen.

In **Tabelle 4** werden die wichtigsten mechanischen Eigenschaften der aufgeführten Edelstähle angegeben. Da diese vorwiegend als kaltgewalzte Bleche und Bänder Anwendung finden, beziehen sich die Angaben auf diesen Lieferzustand.

Durch Kaltformgebung können diese Eigenschaften bedeutend verändert werden. So zum Beispiel erreichen die austenitischen Edelstähle in der Verfestigungsstufe K 700 eine Dehngrenze von min. 350 N/mm^2. Die Stufe K 800 bewirkt min. eine Dehngrenze von 500 N/mm^2 bzw. 800 – 1.000 N/mm^2.

In Sonderfällen kommen noch höhere Festigkeiten in Betracht (Verfestigungsstufen K 1.000 und K 1.200). Hierzu wird auf die Angaben in DIN EN 10088 verwiesen.

In **Tabelle 5** sind Angaben über die physikalischen Eigenschaften wie Dichte, Wärmeausdehnung, Wärmeleitfähigkeit u. ä. aufgeführt.

Stahlbezeichnung		Erzeugnisform[1]	Dicke	0,2 % - Dehngrenze	1 % - Dehngrenze	Zugfestigkeit	Bruchdehnung		Kerbschlagarbeit (ISO-V)		Beständigkeit gegen interkristalline Korrosion	
				$R_{p0,2}$	$R_{p1,0}$	R_m	$A_{80\,mm}$ < 3 mm Dicke	A ≥ 3 mm Dicke	KV >10 mm Dicke J			
Kurzname	Werkstoffnummer		mm max.	N/mm² min. (quer)		N/mm²	% min. (quer)	% min. (quer)	min. (längs)	min. (quer)	im Lieferzustand	im sensibilisierten Zustand
X2CrNi12	1.4003	C	6			450-650	20				nein	nein
		H	12	280	320							
		P	25	250	280		18					
X6Cr17	1.4016	C	6	260	280	450-600	20				ja	nein
		H	12	240	260		18					
		P	25	240	260	430-630	20					
X5CrNi18-10	1.4301	C	6	230	260	540-750	45	45	-	-	ja	nein
		H	12	210	250	520-720			90	60		
		P	75	210	250		45	45				
X2CrNiTi18-10	1.4541	C	6	220	250	520-720	40	40	-	-	ja	ja
		H	12	200	240				90	90		
		P	75	200	240	500-700						
X2CrNiN18-7	1.4318	C	6	350	380	650-850	35	40	-	-	ja	ja
		H	12	330	370				90	60		
		P	75	330	370	630-830	45	45				
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	C	6	240	270	530-680	40	40	-	-	ja	nein
		H	12	220	260				90	60		
		P	75	220	260	520-670	45	45				
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	C	6	240	270	530-680	40	40	-	-	ja	ja
		H	12	220	260				90	60		
		P	75	220	260	520-670	45	45				
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	C	6	240	270	540-690	40	40	-	-	ja	ja
		H	12	220	260				90	60		
		P	75	220	260	520-670						
X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	C	6	290	320	580-780	35	35	-	-	ja	ja
		H	12	270	310				90	60		
		P	75	270	310		40	40				
X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539	C	6	240	270	530-730	35	35	-	-	ja	ja
		H	12	220	260				90	60		
		P	75	220	260	520-720						
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	C	6	480		660-950	20	20	-	-	ja	ja
		H	12	460			25	25	90	60		
		P	75	460		640-840						
X2CrNiMnMoNbN25-18-5	1.4565			420	460	800-950	35	30	120	90	ja	ja
X1NiCrMoCuN25-20-7	1.4529	P	75	300	340	650-850	40	40	90	60	ja	ja
X1CrNiMoCuN20-18-7	1.4547	C	6	320	350	650-850	35	35	-	-	ja	ja
		H	12	300	340				90	60		
		P	75				40	40				

[1]) C = kaltgewalztes Band; H = warmgewalztes Band; P = warmgewalztes Blech

Tabelle 4: Mechanische Eigenschaften bei Raumtemperatur der nichtrostenden Stähle im lösungsgeglühten Zustand und Beständigkeit gegen interkristalline Korrosion

Physikalische Eigenschaften									
Stahlsorte		Dichte	Elastizitäts-modul bei 20 °C	Wärmeausdehnung zwischen 20 °C und		Wärmeleit-fähigkeit bei 20 °C	Spezifische Wärme-kapazität bei 20 °C	Elektrischer Widerstand bei 20 °C	
Werkstoff-nummer	Kurzname			100 °C	400 °C				
		kg/dm³	kN/mm²	10^{-6}/K	10^{-6}/K	W/m*K	J/kg*K	Ω*mm²/m	magnetisierbar
1.4003	X2CrNi12	7,7	220	10,4	11,6	25	430	0,60	ja
1.4016	X6Cr17	7,7	220	10,0	10,5	25	460	0,60	ja
1.4301	X5CrNi18-10	7,9	200	16,0	17,5	15	500	0,73	nein [1])
1.4541	X6CrNiTi18-10	7,9	200	16,0	17,5	15	500	0,73	nein [1])
1.4318	X2CrNiN18-7	7,9	200	16,0	17,5	15	500	0,73	nein [1])
1.4567	X3CrNiCu18-9-4	7,9	200	16,7	18,1				nein [1])
1.4401	X5CrNiMo17-12-2	8,0	200	16,0	17,5	15	500	0,75	nein [1])
1.4404	X2CrNiMo17-12-2	8,0	200	16,0	17,5	15	500	0,75	nein [1])
1.4571	X6CrNiMoTi17-12-2	8,0	200	16,5	18,5	15	500	0,75	nein [1])
1.4439	X2CrNiMoN17-13-5	8,0	200	16,0	17,5	14	500	0,85	nein [1])
1.4539	X1NiCrMoCu25-20-5	8,0	195	15,8	16,9	12	450	1,00	nein [1])
1.4565	X2CrNiMnMoNbN25-18-5	8,0	190	14,5	16,8	12	450	0,92	nein [1])
1.4529	X1NiCrMoCuN25-20-7	8,1	195	15,8	16,9	12	450	1,00	nein [1])
1.4547	X1CrNiMoCuN20-18-7	8,0	195	16,5	18,0	14	500	0,85	nein [1])
1.4462	X2CrNiMoN22-5-3	7,8	200	13,0	300 °C 14,0	15	500	0,80	ja
[1]) Durch Kaltumformung entstandene geringe Anteile an Ferrit und/oder Martensit erhöhen die Magnetisierbarkeit									

Tabelle 5: Anhaltsangaben über weitere physikalische Eigenschaften

1.6 Korrosionsbeständigkeit

Grundsätzliche Voraussetzung für die Erzielung der optimalen Korrosionsbeständigkeit ist eine metallisch saubere Oberfläche.

In normaler Atmosphäre sowie im Lebensmittel- und Küchenbereich werden die austenitischen Chrom-Nickel-Stähle mit den Werkstoffnummern 1.4301 und 1.4541 eingesetzt.

Die austenitischen Chrom-Nickel-Molybdän-Stähle mit den Werkstoffnummern 1.4401 oder 1.4571 bewähren sich bei stärkeren Beanspruchungen, z.B. bei Einsatz in Küstennähe, sonstigen aggressiven Luftverhältnissen, bei mäßiger Chlorideinwirkung usw..

Bei hoher Korrosionsbelastung durch Chloride und Schwefeldioxid sowie bei Aufkonzentration von Schadstoffen werden hochlegierte nichtrostende Stähle mit den Werkstoff-Nummern 1.4429, 1.4439, 1.4462 oder 1.4565 verwendet.

Ferritische Chrom-Stähle mit den Werkstoffnummern 1.4016 und 1.4511 sind bei geringen Korrosionsbeanspruchungen einsetzbar, z.B. für Innenarchitektur oder kurzzeitige Lebensmittelkontakte.

Die nichtrostenden Stähle mit den Werkstoffnummern 1.4003 und 1.4512 lassen sich bei freier Bewitterung als rostträge Konstruktionswerkstoffe einsetzen, die aufgrund der niedrigen Legierungsgehalte kostengünstig hergestellt werden. Bei erhöhten Anforderungen an das Aussehen ist ggfs. eine Beschichtung erforderlich. Der Werkstoff 1.4003 zeichnet sich durch höhere Festigkeit aus.

2 Trennverfahren

2.1 Mechanische Trennverfahren

2.1.1 Schneiden, Nibbeln

Die austenitischen Edelstähle haben höhere **Scherfestigkeiten** als die unlegierten Stähle bzw. die ferritischen nichtrostenden Stähle. Man benötigt daher zum Schneiden eines Bleches mehr Kraft. Da jedoch im allgemeinen dünnere Bleche genommen werden als für gleiche Teile aus unlegiertem Stahl, sind die erforderlichen Scherkräfte annähernd gleich.

Der **Schneidspalt** soll etwa 5 % der Blechdicke betragen. Steht nur eine Schere zur Verfügung, so ist für allgemeine Blecharbeiten ein Schneidspalt von 0,1 mm zu empfehlen.

Sind zwei Scheren verfügbar, so kann man eine für die dünneren Bleche (bis 1,5 mm) auf 0,5 mm und die andere für die dickeren Bleche auf 0,1 mm einstellen.

Größere Schneidspalten sind zu vermeiden. Fließt der Werkstoff über die untere Schneidkante, führt dies schnell zu Kaltverfestigung und somit zu höherem Kraftbedarf. Ähnliche Wirkung hat eine zu geringe Spaltbreite, die daran zu erkennen ist, daß die ganze Schnittfläche verschmiert aussieht. Der Spalt ist richtig eingestellt, wenn die geschnittenen (blanken) Anteile der Schnittflächen etwa 40 % oben und unten betragen.

Die **Schneiden** sollen immer sehr scharf, sauber und frei von Auf-

schweißungen sein. Stumpfe Schneiden verursachen Kaltverfestigung und Riefen; außerdem erhöhen sie den Kraftbedarf. Die Größe des Schneidenwinkels der Messer ist begrenzt, da die Schneidkanten nicht geschwächt werden dürfen. Zum Schneiden von Bändern und Blechen kann er bis zu 1,5° betragen. Aufschweißungen können durch Einsatz von Werkzeugen verhindert werden, die mit Titannitrid (TiN) beschichtet sind.

Der Scherenhersteller wird meist einen bestimmten Werkstoff für die Schermesser empfehlen. Die besten Werkzeugstähle, wie vollgehärtete Schnellarbeitsstähle oder hochkohlenstoff- und chromhaltige Kaltarbeitsstähle, haben die längsten Standzeiten. Eine Schmierung ist im allgemeinen nicht erforderlich.

Bei Scheren mit Niederhaltern ist es zweckmäßig, die Auflagefläche der Niederhalter mit einem Profil aus Gummi oder ähnlichem Material zu versehen, um die Oberfläche des Werkstücks nicht zu beschädigen.

Spezialtrennscheiben für nichtrostende Stähle eignen sich besonders gut für dickwandige Profile und Vollmaterialien.

Nichtrostende Stähle lassen sich genauso nibbeln wie unlegierte Stähle; jedoch ist mehr Kraft erforderlich, und die maximale Blechdicke darf bei gleicher Maschine nur etwa 65 bis 70 % der von unlegierten Stählen betragen. Im allgemeinen werden die Werkzeuge aus Schnellarbeitsstahl gefertigt und haben ebene Arbeitsflächen.

2.1.2 Stanzen, Lochen

Das **Stanzen** von Edelstahl Rostfrei erfordert wegen seiner größeren Scherfestigkeit mehr Kraft. Häufig läßt sich die erforderliche Kraft dadurch vermindern, daß ein Werkzeugteil angeschrägt wird **(Bild 1)**. Soll das ausgestanzte Teil weiterverarbeitet werden, so wird die Matrize angeschrägt, während die Stempelunterseite plan bleibt, um ein Verziehen des Teiles zu vermeiden. Ist dagegen das ausgestanzte Stück Abfall, so soll der Stempel angeschrägt sein, damit das restliche Teil flach bleibt.

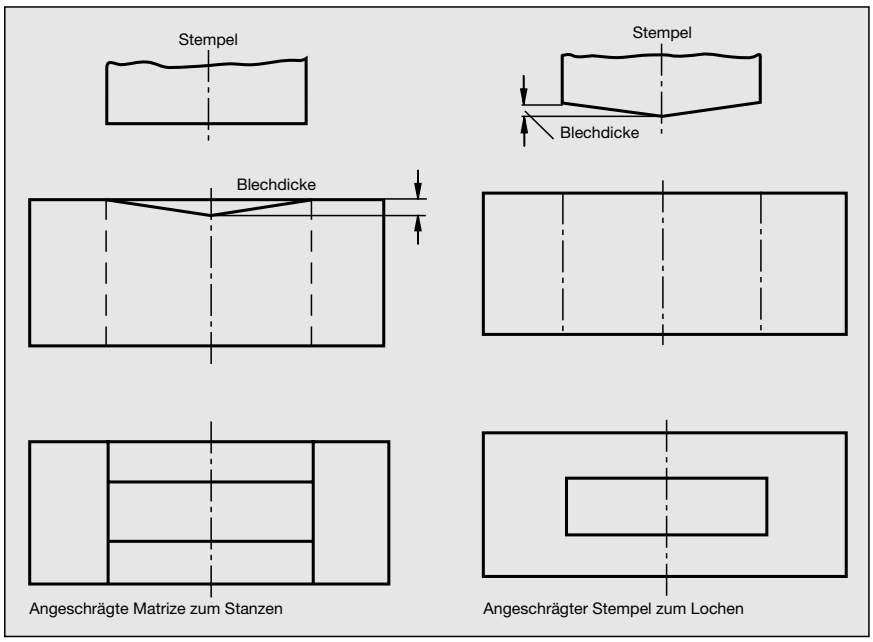


Bild 1: Darstellung der empfohlenen Werkzeugformen für das Stanzen und Lochen flacher Teile aus Edelstahl Rostfrei

Der **Scherspalt** zwischen Matrize und Stempel muss enger sein als bei unlegierten Stählen, damit der Werkstoff nicht über die Schneidkanten des Werkzeugs fließt und dadurch eine Kaltverfestigung erfährt, die Werkzeuge und Maschine unnötig beansprucht.

Es ist üblich, den Scherspalt zwischen Matrize und Stempel mit 10 % der Blechdicke zu bemessen (bei allseitig geschlossenen Schnitten also 5 % auf jeder Seite). Für Blechdicken unterhalb 1 mm sollte man den Spalt noch enger machen, um einwandfreie Teile zu erhalten; die Spaltbreiten betragen dann vorzugsweise 0,025 bis 0,035 mm pro Seite.

Bild 2: Stanzmaschinen werden abgestimmt auf die Besonderheiten des Werkstoffs Edelstahl Rostfrei

Die **Werkzeuge** können aus Schnellarbeitsstahl oder aus hochkohlenstoff- und chromhaltigen Kaltarbeitsstählen hergestellt werden. Sie werden auf eine Härte von 60 bis 62 HRC gehärtet. Bei guter Werkzeugaufnahme und sorgfältigem Einbau kann man auch mit einsatzgehärteten Stempeln und Matrizen arbeiten. Die Werkzeuge müssen immer scharf gehalten werden.

Aufbauschneiden lassen sich durch Verwendung von TiN-beschichteten oder plasmanitrierten Werkzeugen, aber auch weitgehend durch leichte Schmierung verhindern; hier haben sich hochviskose Mineralöle als wirksam erwiesen.

Beim **Lochen** sollte der kleinste Lochdurchmesser mindestens der doppelten Blechdicke und der Mindestabstand zwischen den Löchern dem halben Lochdurchmesser entsprechen. Ratsam ist, mit geringeren Stößelgeschwindigkeiten zu arbeiten als beim Lochen unlegierter Stähle. Die Werkzeuge müssen scharf, die Schneidkante am Stempel kann schräg geschliffen sein.

Die Werkzeuge werden aus den gleichen Werkstoffen hergestellt wie Stanzwerkzeuge. Aufbauschneiden lassen sich durch Schmiermittel vermeiden, wie sie auch zum Stanzen verwendet werden.

Weitere Hinweise auf die Werkzeuggestaltung für die spanlose Bearbeitung nichtrostender Feinbleche sind in der VDI-Richtlinie 3375 enthalten.

2.1.3 Sägen

Für Edelstahl Rostfrei lassen sich Kreis-, Bügel-, Band- oder Handsägen benutzen. Es sind nur HSS-Sägeblätter zu verwenden. Grobe Zahnung ist für Vollmaterial, feine Zahnung für dünnwandiges Material erforderlich.

Bei normalverzahnten Sägen soll der Keilwinkel 50°, der Schnittwinkel 90° betragen. Bei Hochleistungssägen werden Spanwinkel von 10 bis 12° und Freiwinkel von 6° empfohlen. Die beste Schnittgeschwindigkeit liegt zwischen 7 und 10 m/min. Der Vorschub darf 25 mm/min nicht überschreiten. Ausreichende Kühlung ist erforderlich.

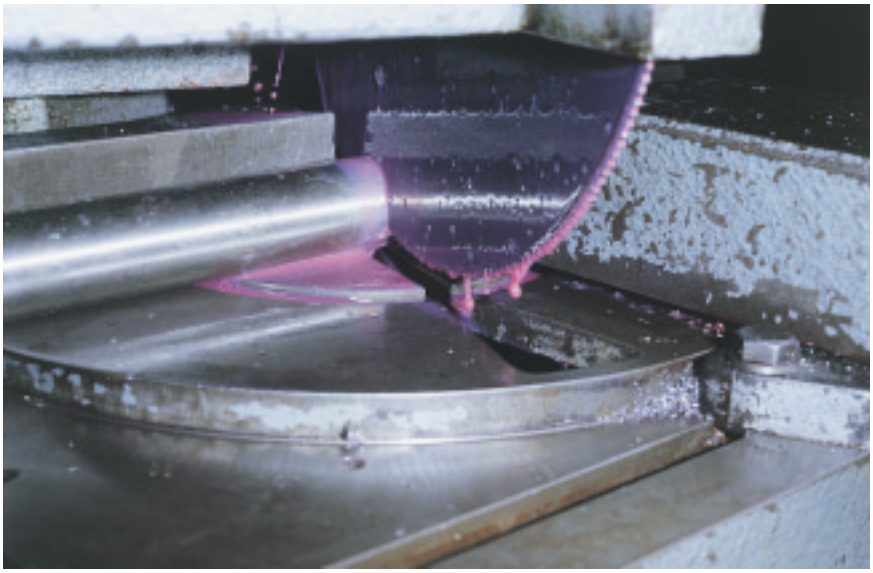


Bild 3: Beim Sägen von Edelstahlrohren verhindern eingelegte Füllstücke das Durchbiegen und sorgen für präzisen Schnitt – eine ausreichende Kühlung ist immer erforderlich

Bei den meist dünnen Querschnitten ist sicheres Einspannen wichtig. Bei Hohlprofilen empfiehlt es sich, Füllstücke einzulegen, um ein Durchbiegen und dadurch verursachte ungenaue Sägeschnitte zu vermeiden.

Wird mit der **Handbügelsäge** getrennt, ist das Sägeblatt beim Zurückziehen anzuheben, da es sonst zur Kaltverfestigung kommt. Beim Arbeitshub muss das Sägeblatt dauernd im Eingriff bleiben. Vorzugsweise werden Sägeblätter aus Schnellarbeitsstahl verwendet, und der Sägebügel sollte sehr stabil ausgeführt sein.

Motorgetriebene Bügelsägen ergeben größere Schnitttiefen als Handsägen. Geschränkte Blätter mit einer Zahnteilung von 2 bis 3 mm sind üblich. Auch bei Motorsägen muss das Blatt beim Rückholen abheben.

Bandsägen verwendet man gelegentlich zum Sägen von Blechen, zum Besäumen von Flanschen nach dem Tiefziehen und zum Ablängen von Stabstahl und Rohren. Im allgemeinen werden Blätter mit präzisionsgeschränkter Zahnung bevorzugt. Die Bandgeschwindigkeiten liegen bei 18 bis 30 m/min für Blechdicken oberhalb 1,5 mm und bei 30 bis 40 m/min für dünneres Material. Kaltgewalzte Bleche sollen mit den niedrigeren Schnittgeschwindigkeiten gesägt werden. Die Zähne müssen immer scharf sein und dürfen niemals am Werkstück entlangschleifen, ohne zu schneiden, weil sonst sehr schnell Kaltverfestigung eintritt. Es zahlt sich aus, das breiteste Sägeblatt zu verwenden, das nach dem gewünschten Radius zu schneiden erlaubt.

Zum **Trennen** dünner Profil- oder Rohrabmessungen eignen sich auch handelsübliche Nylon- oder Diamanttrennscheiben.

2.2 Thermische Trennverfahren

Trennen mit Sauerstoff-Azetylen-Brennern allein ist nicht möglich.

Große Bedeutung hat das Trennen mittels **Plasmastrahl** erlangt, es führt zu sauberen, glatten Kanten. Bei Computersteuerung lassen sich auch sehr komplizierte Zuschnitte herstellen. Das Verfahren ermöglicht höhere Schnittge-

Blechdicke mm	Schneid-geschwindig-keit m/min.	Düsendurch-messer mm	Stromstärke A	Leistung kW	Gasverbrauch m^3/h
6	5,0	3	300	60	6,0
12	2,5	3	300	60	6,0
25	1,25	4	400	80	7,0

Tabelle 6: Arbeitsbedingungen für das Plasmaschneiden

Bild 4: Sonderzuschnitte von Flachprodukten aus Edelstahl Rostfrei können mit Laserschneidanlagen problemlos und exakt ausgeführt werden

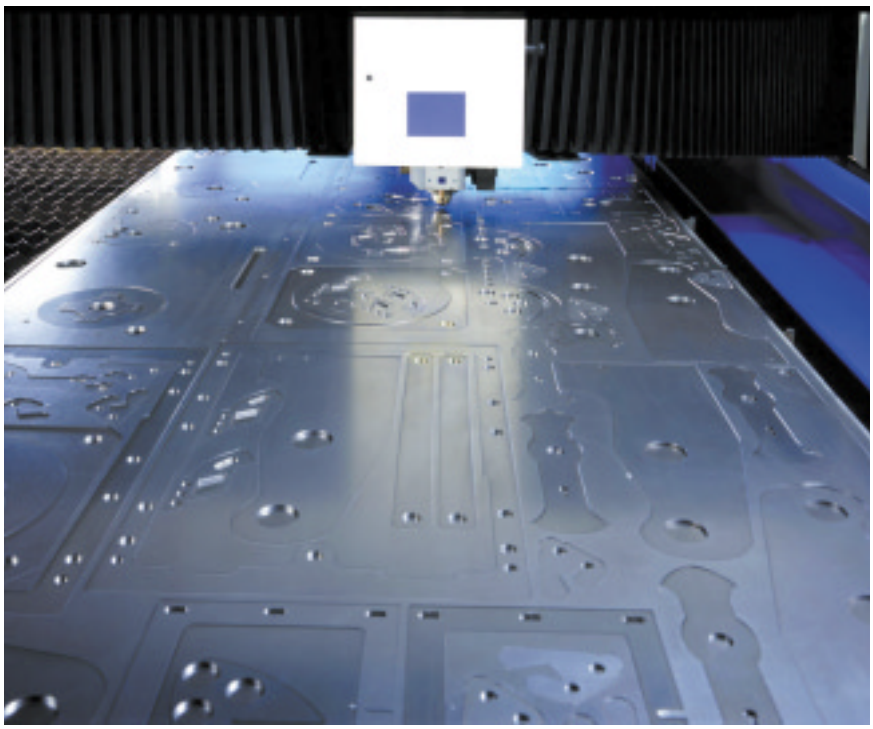


Bild 5: Mit modernen Laserschneidemaschinen werden auch diffizile Konturen sehr präzise ausgeschnitten

schwindigkeiten bei sehr schmalen Wärmeeinflußzonen **(Tabelle 6)**.

Nach dem Plasmaschneiden genügt in der Regel ein leichtes Überschleifen der Kanten zur Beseitigung von Anlauffarben. Im Unterwasserschnitt können Anlauffarben vermieden werden.

Eine weitere Verbesserung stellt das **Laserschneiden** mit einem Schneidgas dar. Es können nichtrostende Stähle bis 30 mm Dicke damit getrennt werden. Dabei werden bei Schutzgasanwendungen glatte, zunder- und anlauffarbenfreie Schnitte nahezu ohne Gratbildung erzielt, die keine Nacharbeit, z.B. für anschließende Schweißarbeiten, erfordern. Die dünnen Schnittfugen verringern Schnittverluste und ergeben senkrechte Schnittkanten, eine minimale wärmebeeinflußte Zone und geringen Wärmeverzug. Mit dieser Schneidtechnik lassen sich feinste Strukturen mit sehr spitzen Winkeln und schmalen Stegen erzeugen.

Gegenüber mechanischen Bearbeitungsverfahren wie Scheren, Stanzen oder Nibbeln bietet das Laserschneiden Vorteile, weil es keine Kraft auf das Werkstück ausübt, somit kein Verzug und kein Werkzeugverschleiß entstehen.

3 Spanende Formgebung

Allgemein umfaßt die spanende Formgebung das Bohren, Gewindeschneiden, Drehen und Fräsen.

Hierbei gelten für nichtrostende Stähle folgende Grundregeln:

- Wegen der geringen Wärmeleitfähigkeit der austenitischen Edelstähle ist für reichlich Kühlung und Schmierung zu sorgen.
- Die Maschinen müssen steif sein und Kraftreserven (Kaltverfestigung) haben; die Maschinen sollten nur bis etwa 75 % der für die Bearbeitung unlegierter Stähle angegebenen Leistung ausgenutzt werden.

- Werkstück und Werkzeug müssen starr eingespannt werden; die freie Einspannlänge sollte so kurz und die Unterstützung so gut wie möglich sein.
- Die Werkzeuge müssen stets scharf gehalten werden; am besten schleift man sie schon nach, bevor dies notwendig zu sein scheint. Gute Schmiermittel begünstigen den Schneidvorgang und kühlen die Werkzeuge.
- Die Schnitttiefe muß ausreichen, um die durch den vorangegangenen Schnitt kaltverfestigte Schicht vollständig abzuheben. Die Werkzeuge dürfen niemals auf dem Werkstück drücken oder reiben.

3.1 Bohren

Zum **Bohren** können Spiralbohrer aus Schnellarbeitsstahl verwendet werden. Vorteilhafter sind TiN-beschichtete Werkzeuge.

Die Bohrer müssen exakt geschliffen und immer scharf gehalten werden. Dabei ist besonders darauf zu achten, daß alle Winkel, Schneidkanten und Hinterschliffe zur Seele symmetrisch sind. Im allgemeinen liefert ein Spitzenwinkel von 118° gute Ergebnisse. Beim Bohren dünner Bleche kann man ihn auf 130° bis 140° erhöhen, um die beim Durchbruch auftretenden Kräfte zu verringern.

Zusätzlich empfiehlt sich ein Ausspitzen. Der Freiwinkel an der Schneidlippe kann zwischen 15° bei einem Spitzenwinkel von 118° bzw. 5° bei einem Spitzenwinkel von 140° betragen.

Bei größeren Durchmessern empfiehlt sich das Anschleifen von Spanteilern. Um die Schnittverhältnisse und Spanbildung zu verbessern, ist ein Spitzenwinkel von 130° empfehlenswert: Die abgetrennten Späne sind schmaler als zum Beispiel bei 118° und neigen in der Spankammer nicht so sehr zum Klemmen.

Größere Löcher ab 12 bis ca. 60 mm Durchmesser lassen sich wirtschaftlich, insbesondere in Rohren, mit sogenannten Kronbohrern herstellen.

Tiefe Löcher bohrt man zweckmäßigerweise mit einem kurzen Bohrer vor. Kurbelwellenbohrer mit verstärkter Seele und geringerer Steigung können beim Tieflochbohren nützlich sein. An diesen Bohrern muß die Querschneide durch Hinterschleifen von den Spannuten her verkleinert werden, damit echte Schneidkanten beiderseits bis zur Mitte hin entstehen. Damit wird die Anpreßkraft und folglich die Kaltverfestigung im Kern der Bohrung vermindert.

Es empfiehlt sich, die Bohrzentren nicht anzukörnen, weil die dadurch

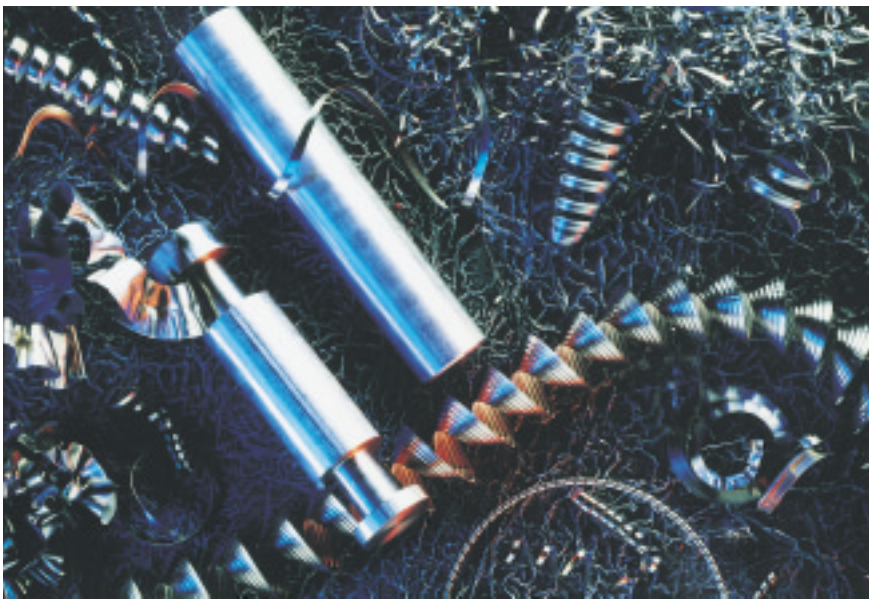


Bild 6: Bestimmte nichtrostende Stähle sind für die spanende Formgebung besonders geeignet

Bei Verwendung von nichtrostenden Automatenstählen mit Schwefel-Zusätzen zwecks leichterer Zerspanung (z.B. 1.4305) ist auf genügende Korrosionsbeständigkeit für den beabsichtigten Verwendungszweck zu achten. **Tabelle 7** gibt einen Überblick über nichtrostende Stähle, die für die spanende Formgebung besonders geeignet sind.

Die ferritischen nichtrostenden Stähle können bei sonst gleichen Bedingungen mit höheren Schnittgeschwindigkeiten (bis zu 30 %) und größeren Vorschüben (bis zu 25 %) als die austenitischen Edelstähle bearbeitet werden.

Auswahl geeigneter Stähle		
Stahlsorte		
Kurzname	Werkstoffnummer	Schwefelgehalt in %
Automatenstähle		
X14CrMoS17	1.4104	
X6CrMoS17	1.4105	0,15 bis 0,35
X8CrNiS18-9	1.4305	
Standardstähle mit verbesserter Spanbarkeit		
X5CrNi18-10	1.4301	
X2CrNi19-11	1.4306	
X2CrNi18-9	1.4307	
X6CrNiTi18-10	1.4541	0,015 bis 0,030
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	

Tabelle 7: Eine Auswahl geeigneter nichtrostender Stähle für die spanende Bearbeitung

verursachte Kaltverfestigung beim Anbohren zu Schwierigkeiten führen kann. Am besten arbeitet man mit einem Zentrierbohrer. Nur wenn dies nicht möglich ist, benutzt man einen Dreikantkörner, der jedoch nur leicht angeschlagen werden sollte. Mit Hilfe von Bohrlehren oder Schablonen vermeidet man all diese Schwierigkeiten. Die Bohrbüchsen sollen möglichst kurz sein, damit man mit kurzen Bohrern arbeiten kann.

Tabelle 8 enthält Richtwerte für Drehzahlen und Vorschübe für das Bohren. Beim Bohren tiefer Löcher müssen diese Geschwindigkeiten gegebenenfalls vermindert werden. Soll kaltverfestigtes Material gebohrt werden, so muß man die Schnittgeschwindigkeit um 20 bis 25 % vermindern.

ungefährer Bohrdurchmesser mm	Drehzahl U/min.	Vorschub mm/U
1,5	1250	Von Hand
3,0	800	0,10
4,8	630	0,11
6,0	500	0,125
8,0	400	0,14
9,5	315	0,16
11,0	280	0,18
12,5	250	0,18
14,5	250	0,18
15,5	224	0,20
17,5	200	0,22
19,0	200	0,22
20,0	200	0,25
22,0	180	0,25
24,0	180	0,28
25,0	180	0,28

Tabelle 8: Drehzahlen und Vorschübe für das Bohren austenitischer Edelstähle (Richtwerte)

Bohrer sowie Bohrloch sind gut zu kühlen. Am besten wird das Kühlmittel unter Druck gegeben, da dies die Spanförderung begünstigt. Üblich sind geschwefelte oder emulgierbare Öle; bei größeren Abmessungen können fettige Mineralöle vorteilhaft sein. Auch hier sind wasserlösliche Schmier-Bindemittel wegen der guten Wärmeabfuhr von Vorteil.

3.2 Gewindeschneiden

Beim **Gewindebohren und -schneiden** ist zu beachten, daß die Späne hart und faserig sind und sich der Werkstoff kaltverfestigt.

Vorzugsweise werden die Löcher so weit vorgebohrt, daß sich eine Tiefe der Gewindegänge von etwa 75 % der üblichen Werte ergibt. Ein solches Gewinde ist nur etwa 5 % schwächer als ein Gewinde mit 100 % Gewindegangtiefe, läßt sich aber dafür wesentlich leichter herstellen.

Beträgt die tragende Länge des Gewindes weniger als 0,5 d, dann muß die Tiefe der Gewindegänge voll ausgeschnitten werden. Um die Klemmreibung zu vermindern, sollte – in Abhängigkeit vom Durchmesser – die Bohrung grundsätzlich einige Zehntel Millimeter größer sein. Bei den Gewindebohrern sollte der Anschnitt möglichst um ein bis zwei Gewindegänge verlängert werden.

Um einen guten Spanablauf zu sichern, werden meist dreischneidige Gewindebohrer verwendet. Ist der Durchmesser groß genug, sollten die Gewindebohrer hinterschliffen sein.

Für das Schneiden kleinerer Gewinde, ca. M2 bis M6, wurden zweischneidige Gewindebohrer entwickelt. Diese haben den Vorteil, daß sie nicht so schnell abbrechen.

Bild 7 zeigt andere, oft genutzte Möglichkeiten, die schneidenden Stege zwischen den Spannuten schmaler zu machen oder den Spanablauf günstig zu beeinflussen. Die Gewindebohrer sind mit einem positiven Spanwinkel von 15 bis 20° anzuschleifen.

Die Schneideisen der Gewindeschneidköpfe sollten aus Schnellarbeitsstahl mit TiN-Beschichtung hergestellt sein. Alle Schneidbackenarten lassen sich verwenden, also tangentiale, radiale, zusammengesetzte und solche aus einem Stück. Der Schnittwinkel der Schneidbacken ist stets positiv und soll für nichtrostende Automatenstähle 10 bis 20°, bei allen übrigen Sorten 20 bis 25° betragen. Eine lange Einlaufschräge mit einer Tiefe von mindestens 3 Gewindegängen ist nützlich, wobei 15° Einlaufwinkel üblich sind. Diese Zahlen sind nur Richtwerte. Anhand eigener Erfahrungen wird man recht bald den für die jeweilige Aufgabe bestgeeigneten Einlaufwinkel festlegen können. Gewindebohrsätze mit gestuftem Konus, bei denen jeder Bohrer eine angemessene Schnittiefe hat, werden zum Gewindebohren mit Maschine oder von Hand in Sack- und Durchgangslöchern empfohlen.

Sind große Serien zu bearbeiten, so lassen sich in Durchgangslöcher, deren Länge kleiner ist als 2xd, Gewinde recht gut maschinell mit Hilfe von Gewindebohrern mit Spiraleinsatz (Kanonenbohrerspitze) einschneiden.

Als Schnittgeschwindigkeiten beim Gewindebohren sind 3 bis 5 m/min vorzusehen. Die Bohrer darf man nur selten abheben, um Kaltverfestigung des Werkstoffs zu vermeiden. Beim Gewindebohren muß immer geschmiert werden. Reichlicher Zufluß von Schmiermitteln, wie geschwefeltem, mit Petroleum

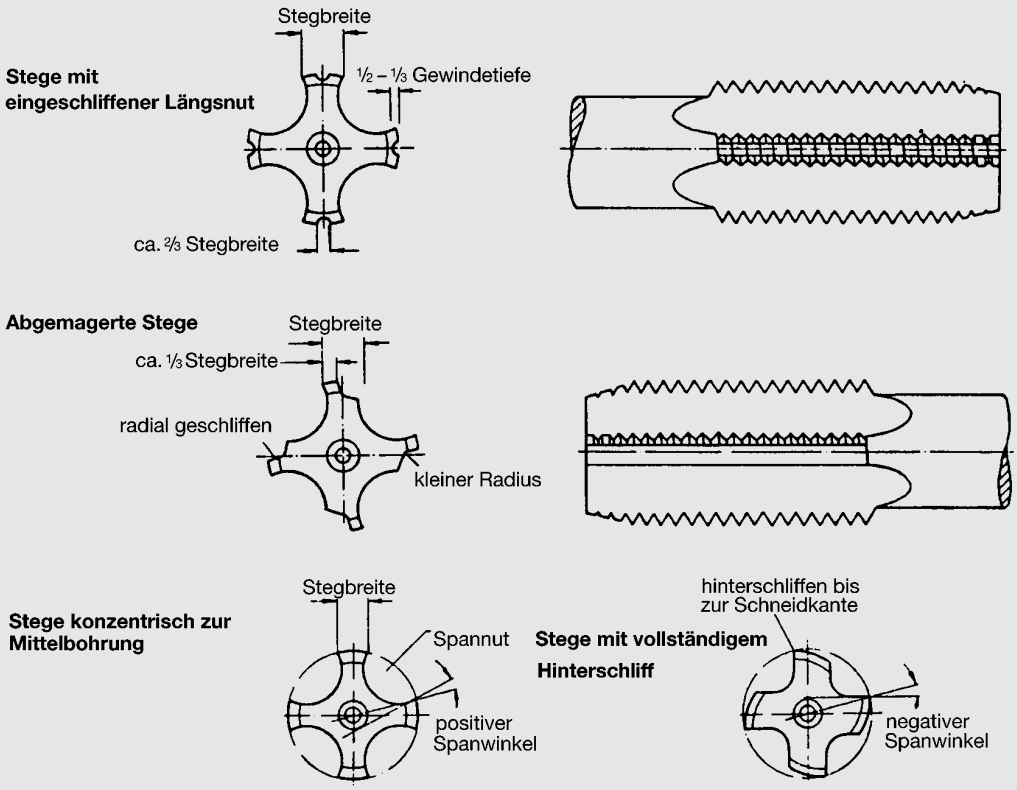


Bild 7: Typische Methoden zur Formentlastung und zur Erleichterung des Spantransports an Gewindebohrern für nichtrostende Stähle, dargestellt an vierschneidigen Bohrern. Zu beachten ist, daß alle Schneidkanten auf positiven Spanwinkeln geschliffen werden müssen

verdünnten Mineralöl, begünstigt die Spanabfuhr. Alternativ kann man Bleiweiß-Talg-Pasten u.ä. verwenden.

Selbstöffnende Gewindeschneidköpfe sind für alle Durchmesser zu empfehlen; bei kleineren Durchmessern kann man mit gestuften Schneideisen arbeiten. Die Schnittgeschwindigkeiten liegen bei 2,5 bis 7,5 m/min. Die Schmier- und Kühlbedingungen entsprechen denen für das Gewindebohren.

Bild 8: Drehteile aus Edelstahl Rostfrei

3.3 Drehen

Alle nichtrostenden Stähle lassen sich auf Drehmaschinen bearbeiten, wenn diese Maschinen schwer genug sind.

Werkstück und Werkzeug sind sehr fest einzuspannen; die beweglichen Teile der Drehbank sollen ein möglichst geringes Spiel aufweisen, damit keine Rattermarken entstehen.

Wegen der hohen Wärmeausdehnung der austenitischen Edelstähle muss bei schweren und langzeitigen Dreharbeiten die Körnerspitze des Reitstocks gelegentlich nachgestellt werden.

Zum Bearbeiten eignen sich Schnellarbeitsstähle, besser Cermets und Hartmetalle. Die Schneiden müssen immer scharf sein, da eine durch stumpfe Werkzeuge verursachte Kaltverfestigung die weitere Verarbeitung sehr erschwert.

Spanbrecherstufen erleichtern den Abtransport der Späne. Eine zu große Spanstauchung ist jedoch zu vermeiden. Aus diesem Grunde empfiehlt sich, bei den Werkzeugherstellern nach speziellen Sorten und Formen für die Bearbeitung nichtrostender Stähle zu fragen.

Zum **Schruppen** und für grobe Arbeiten verwendet man gewöhnliche Drehmeißel gemäß **Bild 9**. Die Schnittkante ist gerade und hat einen Einstellwinkel von 70°.

Bei Werkzeugen aus Schnellarbeitsstahl ist der Spitzenradius so klein wie möglich auszubilden; bei großen Schnitttiefen und bei der Bearbeitung von Schmiedestücken mit starkem Zunder und Oberflächenfehlern läßt sich die Schneidkante durch Anschleifen einer negativen Fase von 5 bis 15° versteifen; Fasenbreite etwa 0,7 x Vorschubgröße. Um die Spanabfuhr zu verbessern, kann der Neigungswinkel der Hauptschneide bis + 15° vergrößert werden.

Zum **Schlichten** eignen sich ebenfalls Werkzeuge aus Schnellarbeitsstahl (Spanwinkel 15 – 20°) oder Hartmetall (Spanwinkel 12 – 15°). Der Neigungswinkel sollte im allgemeinen 0° betragen; er kann bei bestimmten Fällen leicht positiv gewählt werden, da hierdurch der Spanablauf verbessert wird.

In der Regel eignet sich ein Spitzenradius von 0,8 mm; werden bessere Oberflächengüten

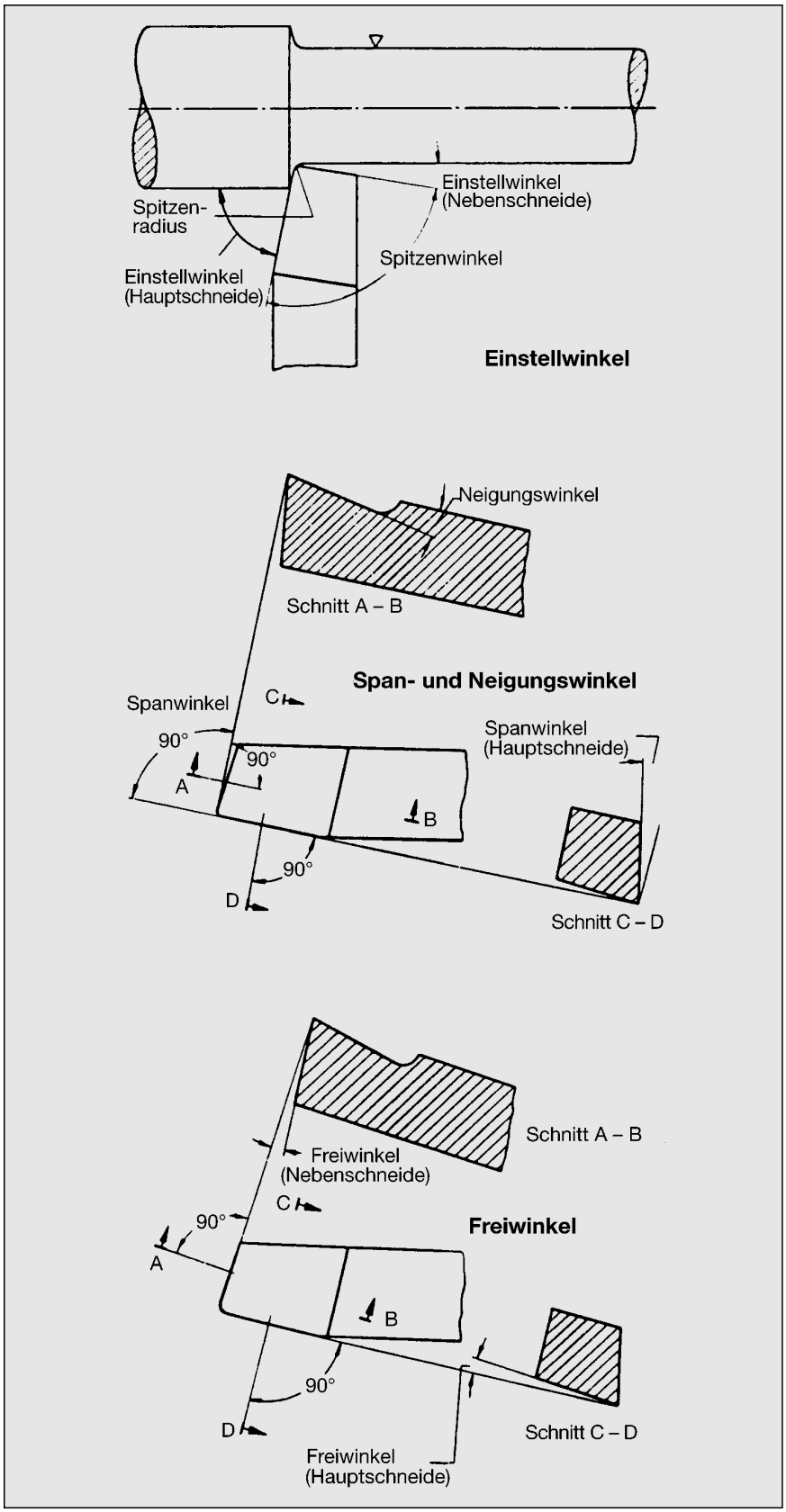


Bild 9: Drehmeißel für das Bearbeiten von Edelstahl Rostfrei: Die Schnittkante ist gerade und hat einen Einstellwinkel von 70°

Art der Arbeit	Werkstoff des Werkzeugs	Schnitt-geschwindigkeit mm/min	Vorschub mm/U
Schruppen	Schnellarbeitsstahl	8 … 12	0,4 … 1,0
	Hartmetall	40 … 60	0,4 … 1,0
	Cermet	100 … 150	0,15 … 0,3
Schlichten	Schnellarbeitsstahl	15 … 25	0,1 … 0,2
	Hartmetall	60 … 100	0,1 … 0,4
	Cermet	180 … 250	0,05 … 0,2

Tabelle 9: Vorschübe und Schnittgeschwindigkeiten für das Drehen austenitischer Edelstähle (Richtwerte)

gewünscht, sollte man den Spitzenradius und Vorschub vermindern. Angaben über Vorschübe und Schnittgeschwindigkeiten sind in **Tabelle 9** enthalten.

Damit Werkzeuge und Werkstücke ausreichend gekühlt und geschmiert werden, muß für reichliche Flüssigkeitszufuhr gesorgt werden. Für Schrupparbeiten eignen sich geschwefelte Mineralöle oder Fett-Mineralöl-Gemische, die bei starkem Werkzeugverschleiß mit Petroleum verdünnt werden können. Zum Schlichten genügen in aller Regel wässrige Ölemulsionen. Wasserlösliche Kühl-Schmiermittel sind wegen ihrer besseren Wärmeabfuhr zu bevorzugen.

3.4 Fräsen

Wegen der großen Schnittkräfte, die beim Fräsen auftreten, sind diese Arbeiten auf sehr schweren Maschinen auszuführen. Der tote Gang aller beweglichen Teile muss gering sein, damit keine Rattermarken entstehen.

Bei der Bearbeitung zunderfreier Oberflächen ist das Gleichlauffräsen empfehlenswerter. Beim Gegenlauffräsen ist mit größerer Kaltverfestigung zu rechnen.

Am besten geeignet sind Fräser mit stark hinterschliffenen Schneiden und breiten, stark gewendelten Spannuten. Sie werden aus Schnellarbeitsstahl hergestellt, können aber auch mit Hartmetall bestückt sein. Die Zähne haben gewöhnlich einen positiven Schnittwinkel von 10 bis 30° (Neigung gegen den Radius) und sind gegen die Mantellinie um 10 bis 50° geneigt. Üblicherweise sind sie mit 5 bis 10° hinterschliffen.

Bei hartmetallbestückten Werkzeugen braucht der Schnittwinkel nicht so stark positiv zu sein. Es wird empfohlen, sich wegen des am besten geeigneten Winkels durch den Hersteller beraten zu lassen.

Nimmt die Zahndicke infolge häufigeren Nachschleifens zu, muß der Hinterschliff erneuert werden, um zu verhindern, daß die Freifläche am Werkstück reibt und so eine Kaltverfestigung verursacht.

Beim Arbeiten mit Fräsern aus Schnellarbeitsstahl sind für nichtrostende Stähle in Automatenqualität Schnittgeschwindigkeiten von 15 bis 30 m/min üblich, bei allen übrigen Sorten betragen die Schnittgeschwindigkeiten 10 bis 20 m/min.

Mit Hartmetallfräsern kann man etwas höhere Schnittgeschwindigkeiten erreichen. Die Vorschübe liegen im allgemeinen bei 0,08 bis 0,30 mm pro Zahn.

Werkstücke und Werkzeugschneiden kühlt man reichlich mit geschwefeltem Mineralöl oder fettigem, geschwefelten Mineralöl, das mit Petroleum verdünnt ist.

4 Spanlose Umformung

Bei der spanlosen Umformung handelt es sich meist um Kaltumformung. Bei austenitischen Edelstählen tritt dabei eine größere Kaltverfestigung auf als bei unlegierten Stählen.

Nach starken Umformungen wird manchmal festgestellt, daß diese zuvor unmagnetischen nichtrostenden Stähle **(Tabelle 5)** nun von einem Magneten angezogen werden. Das beruht auf einer teilweisen Umwandlung des austenitischen Gefüges in Verformungsmartensit. Die Korrosionsbeständigkeit wird hierdurch nicht beeinflußt. Durch Wärmebehandlung können sowohl die Verfestigung als auch der Magnetismus wieder abgebaut werden. Das ist aber nur erforderlich, wenn weitere Kaltumformungen erfolgen sollen oder die hohe Festigkeit bzw. Magnetisierbarkeit die weitere Verwendbarkeit einschränken.

Bei Kaltumformgraden von mehr als 15 % ist eine Wärmebehandlung notwendig.

Die ferritischen Edelstähle können im geglühten Zustand etwa wie unlegierte Stähle kaltumgeformt werden. Das bedeutet gegenüber den austenitischen Edelstählen geringeren Kraftbedarf, geringere Dehnung und geringere Rückfederung.

Die austenitischen Edelstähle lassen sich gut umformen. Der benötigte Kraftaufwand ist um 50 – 60 % höher als bei unlegiertem Stahl gleicher Festigkeit, auch muß man mit einer stärkeren Rückfederung rechnen. Blechkanten lassen sich um 180° umlegen. Es ist zu beachten, daß Kaltumformungen Aufrauhungen an der Biegekante zur Folge haben können.

Bei ferritischen Edelstählen sind die Werte für Kraftbedarf und Rückfederung vergleichbar zu unlegierten Stählen mit ähnlichen Festigkeitseigenschaften.
Hinweise auf die Werkzeuggestaltung finden sich in der VDI-Richtlinie 3375.

4.1 Abkanten

Bleche aus austenitischen Edelstählen lassen sich bis 3 mm Dicke

mit dem Biegeradius r = 0, darüber mit r = $^1/_2$ Dicke abkanten.

Bei den ferritischen Edelstählen sind die Biegeradien r = Dicke, bei den Flacherzeugnissen bis zu 3 mm Dicke üblich. Bei dickerem Material sollte r = 2x Dicke gewählt werden. Engere Radien sind beim Abkanten quer zur Walzrichtung möglich.

Die Abkantwerkzeuge sollten aus gehärtetem Stahl bestehen. Sie sind vor dem Arbeitsgang gut von Rost, Eisenstaub oder anderen Verschmutzungen zu säubern, um Fremdrost am Werkstück zu vermeiden. Die freien Kanten sollten gebrochen sein, um unnötige Druckstellen zu verhindern. Für die Werkzeugoberfläche wird mindestens Feinschliff empfohlen.

Genau wie bei unlegierten Stählen kann man mit prismatischen Abkantwerkzeugen arbeiten. Die Breite der Prismen an den Arbeitsflächen sollte etwa achtmal so groß sein wie der Innenradius der fertigen Biegeteile.

Bewährt haben sich weiche Unterwerkzeuge, wie vorgespannte Gummileisten oder Leisten aus Polyurethan, in die das Blech mit dem Biegelineal hineingepreßt wird. So ist die Gefahr von Oberflächenbeschädigungen vermindert; man kann Ausgangsmaterial mit hoher Oberflächengüte verarbeiten und nachträgliche Polierarbeiten vermindern. Ein guter Oberflächenschutz ist das Aufbringen von Kunststoff-Folien auf das Vormaterial.

Auch Profile, die sich aus technischen Gründen nicht rollformen lassen, oder kleine Stückzahlen werden auf Abkantbänken oder -pressen hergestellt.

4.2 Falzen

Falzverbindungen und Kantenverstärkungen durch Umfalzen können bei nichtrostenden Stählen ebenso gefertigt werden wie bei unlegierten Stählen, man benötigt hierzu jedoch mehr Kraft. Deshalb empfiehlt es sich, mit möglichst dünnem Material zu arbeiten. Alle Falzausführungen sind herstellbar, häufig wird zuvor durch Rollnahtschweißen völlige Dichtheit erreicht.

In umgebördelte Kanten lassen sich Verstärkungsdrähte oder -bänder einlegen; diese sollten aber aus demselben nichtrostenden Stahl bestehen wie das verarbeitete Blech.

4.3 Rollprofilieren

Nichtrostende Stähle lassen sich gut rollprofilieren. Dabei kann sowohl mit freilaufenden als auch mit angetriebenen Walzen gearbeitet werden.

Am leichtesten lassen sich diese Stähle im weichgeglühten Zustand formen, da dann ihre Dehnung am höchsten und die Dehngrenze am niedrigsten liegt.

Kaltverfestigte Bänder und Bleche nimmt man dann als Ausgangsmaterial, wenn für das fertige Werkstück eine höhere Festigkeit gefordert wird. Für das Kaltprofilieren kaltverfestigter Bänder ist der Kraftbedarf größer als für weichgeglühte Bänder, auch muß die höhere Rückfederung berücksichtigt werden.

Sollen nichtrostende Stähle nur leicht umgeformt werden, lassen sich die gleichen Walzprofile und Werkzeuge verwenden wie bei unlegierten Stählen. Sollen dagegen stärkere Umformungen vorgenommen werden oder ist kaltverfestigtes Material zu verarbeiten, so müssen die Walzen – zum Schutz gegen Verschleiß – eine höhere Oberflächenhärte haben. Außerdem können zusätzliche Führungen erforderlich sein.

Bild 10: Wie hier am Beispiel eines Quadratrohres erkennbar, lassen sich nichtrostende Stähle gut rollprofilieren

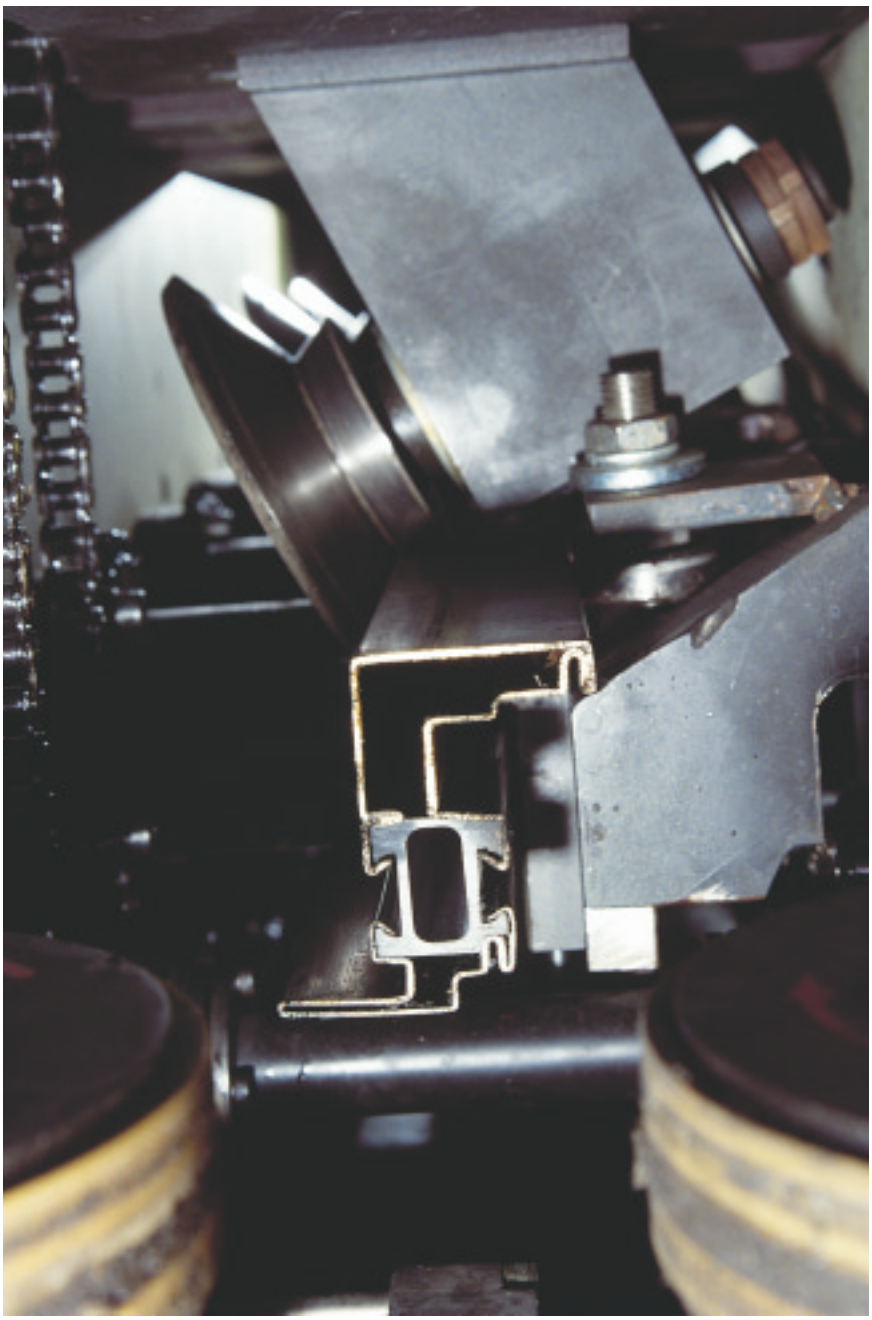


Bild 11: Das Rollprofilieren erlaubt auch die Herstellung von komplizierten Sonderprofilen, zum Beispiel von Fensterprofilen

Die Walzen sind auf eine hohe Oberflächengüte zu schleifen, ihre Kanten sollen rund sein, und die Führungen müssen sehr sorgfältig konstruiert und ausgeführt werden, um ein Fressen oder Verkratzen der Blechoberfläche zu vermeiden.

Die Walzgeschwindigkeiten reichen von 30 m/min für einfache Profile und dünne weichgeglühte Bänder bis zu 7,5 m/min für etwa 3 mm dicke Bänder oder für kaltverfestigtes Material. Eine zu hohe Walzgeschwindigkeit kann Überhitzung verursachen und dadurch zu Aufschweißungen führen.

Als Schmiermittel eignen sich die meisten emulgierbaren Öle in starker Verdünnung. Auch Seifenwasser wird häufig verwendet. Treten hohe Walzdrücke auf, so sind Petroleumzusätze günstig.

4.4 Drücken

Die austenitischen Edelstähle lassen sich wegen ihrer guten Zähigkeit einwandfrei drücken und fließdrücken; infolge ihrer Kaltverfestigung ist jedoch der Kraftaufwand größer als bei unlegierten Stählen. Zwar eignen sich alle Chrom-Nickel-Stähle für diese Verfahren, doch sollten Sorten mit niedrigem Kohlenstoff- und relativ hohem Nickelgehalt vorgezogen werden, weil sie weniger stark zum Kaltverfestigen neigen. Solche Stähle lassen sich stärker kaltumformen, ehe ein (erneutes) Zwischenglühen notwendig wird.

Das Ausgangsmaterial sollte stets im weichsten Zustand vorliegen. Der Grad der Formänderung, der bis zum nächsten Zwischenglühen erreicht werden kann, ist im allgemeinen ein Drittel desjenigen, der sich beim Drücken gleichartiger Teile aus unlegierten Stählen erzielen läßt. Durch zu tiefes Drücken entstehen Spannungen, die zum Aufreißen des Werkstücks führen.

Vielfach ist es vorteilhaft, einen Flansch von 25 bis 50 mm Breite bis gegen Ende der Drückarbeiten unverformt stehenzulassen, da hierdurch die Rißneigung vermindert wird.

Die fertig gedrückten Teile müssen unverzüglich geglüht werden, um ein nachträgliches Reißen (Spannungsrisse) in stark umgeformten Bereichen zu verhindern.

Drückstempel und Drückrollen werden aus gehärteten Werkzeugstählen oder legierten Gußeisensorten hergestellt. Ihre Formen ähneln den entsprechenden Werkzeugen, die zum Drücken von Kupfer verwendet werden; nur sind sie flacher und haben eine größere Berührungsfläche.

Beim Drücken ist reichlich zu schmieren. Die Schmiermittel müssen vor jedem Zwischenglühen sehr sorgfältig entfernt werden. Dies sollte bei der Auswahl des Schmiermittels bereits bedacht werden. Zwischen dem Reinigen und dem Weichglühen dürfen die Werkstücke nicht mit ungeschützten Händen angefaßt werden.

Das Drücken ohne gewollte Wanddickenänderung geschieht genauso wie bei den unlegierten Stählen, nur ist der Kraftbedarf größer. Die Umfangsgeschwin-

digkeit am Werkzeug sollte beim Bearbeiten des Edelstahles 1.4301 auf etwa 50 bis 75 %, beim Bearbeiten aller anderen Chrom-Nickel-Stähle auf 35 bis 50 % der für unlegierte Stähle üblichen Geschwindigkeit vermindert werden.

Zum **Fließdrücken** eignen sich die nichtrostenden Stähle (insbesondere der Edelstahl mit der Werkstoffnummer 1.4301) sehr gut; sie ertragen Querschnittsabnahmen bis zu 80 %. Das zylindrische Fließdrücken ist bei den nichtrostenden Stählen nicht direkt aus der Ronde heraus möglich. Es erfordert eine Vorform, die durch Drücken, Tiefziehen, Biegen o.ä. hergestellt sein kann. Durch diese Drückverfahren lassen sich glatte Oberflächen erzeugen.

Die ferritischen Edelstähle haben ein deutlich eingeschränktes Abstreckverhalten und werden dementsprechend üblicherweise nicht für Drückteile eingesetzt.

4.5 Tiefziehen

Tiefziehteile lassen sich aus den austenitischen wie ferritischen Edelstählen nach allen bekannten Verfahren herstellen.

Durch Zwischenglühungen, die nur bei austenitischen Edelstählen üblich sind, lassen sich sehr hohe Umformungen erreichen. Entsprechend den Umformgraden erfolgt eine Veränderung der Oberflächenstruktur. Das ist beim Zusammenbau mit umverformten Material zu beachten, wenn hohe Ansprüche an ein einheitliches Aussehen gestellt werden. Durch Oberflächenbearbeitung kann dieses wiederhergestellt werden.

Als Ziehwerkzeuge haben sich Aluminium-Hartbronzen oder Kaltarbeitsstähle (Stähle gemäß Werkstoffnummern 1.2080, 1.2436, 1.2601, 1.2379) bewährt. Nur hochwertige Schmiermittel mit ausdrücklichem Eignungshinweis auf die nichtrostenden Stähle sollten Verwendung finden.

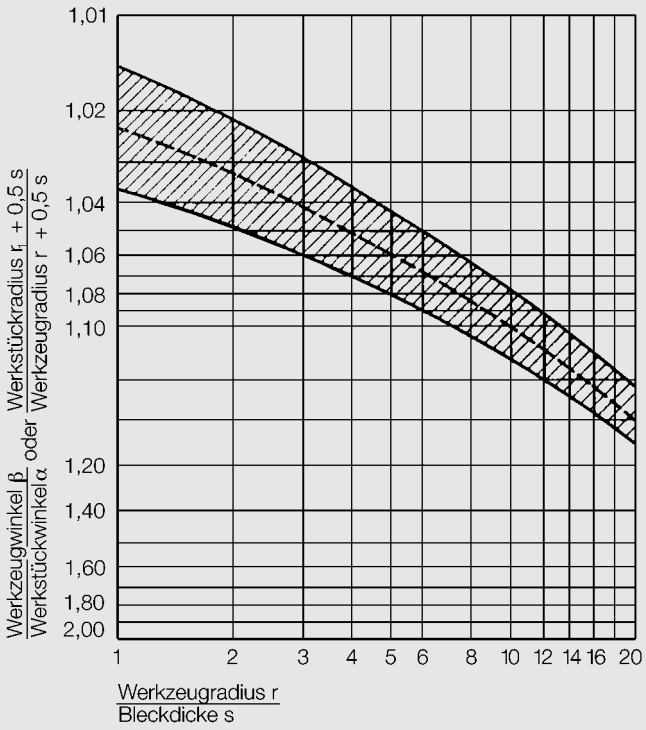
Schutzfolien auf dem Vormaterial können bei richtiger Handhabung ebenfalls als gutes Schmiermittel wirken.

4.6 Biegen, Rohrbiegen

Das Biegeverhalten der ferritischen Edelstähle nähert sich weitgehend dem der unlegierten Stähle. Der etwas höhere Kraftbedarf und die höhere Rückfederung sind zu berücksichtigen. Bei einer Biegung um 90° ist mit einem Plus von ca. 5° zu rechnen. Dickere Bleche (über 12 mm Dicke) sollten beim Biegen auf 150°C vorgewärmt werden.

Über das Biegen von glatten Blechen aus austenitischen Edelstählen gibt **Bild 12** Anhaltswerte hinsichtlich der Biegeradien, Werkzeugabmessung und Rückfederung.

Allgemein kann man ansetzen, daß der Biegeradius 0,5 s bei Blechen bis zu 12 mm Dicke sein soll. Mit steigender Kaltverfestigung müssen die Radien vergrößert werden.



Beispiel 1:

Die Dicke s eines Bleches beträgt 1,5 mm, der Werkzeugradius r 90 mm.

a) Wie groß muß der Werkzeugwinkel β sein, wenn der Werkstückwinkel α 90° betragen soll?

Lösung:

$\frac{r}{s} = \frac{9,0}{1,5}; \quad \frac{r}{s} = 6$

Gemäß Bild 12 entspricht dies einem Durchschnittswert von 1,07 für das Verhältnis β/α, also

$\frac{\beta}{90} = 1,07; \quad \beta = 1,07 \cdot 90; \quad \beta = 96,30$

d. h., der Werkzeugwinkel β muß etwa 90° betragen.

b) Wie groß wird der Werkstückwinkel α, wenn der Werkzeugwinkel β 90° beträgt?

Lösung:

$\frac{r}{s} = \frac{9,0}{1,5}; \quad \frac{r}{s} = 6; \quad \frac{\beta}{\alpha} = 1,07; \quad \frac{90}{\alpha} = 1,07; \quad \alpha = \frac{90}{1,07}; \quad \alpha = 84,2$

d. h., der Werkstückwinkel α wird etwa 84°.

Beispiel 2:

Wie groß wird bei einer Blechdicke s von 1,5 mm der Werkstückradius r_1, wenn der Werkzeugradius r 9,0 mm beträgt?

Lösung:

$\frac{r}{s} = \frac{9,0}{1,5}; \quad \frac{r}{s} = 6$

Gemäß Bild 12 entspricht dies einem Durchschnittswert von 1,07 für das Verhältnis $\frac{r_1 + 0,5\,s}{r + 0,5\,s}$, also

$\frac{r_1 + (0,5 \cdot 1,5)}{9 + (0,5 \cdot 1,5)} = 1,07; \quad r_1 = (1,07 \cdot 9,75) - 0,75; \quad r_1 = 9,68$

d. h., der Werkstückradius r_1 wird etwa 9,7 mm.

Bild 12: Beziehungen zwischen Werkzeugradius, Werkzeugwinkel, Radius und Winkel am Werkstück sowie Dicke des Materials beim Biegen weichgeglühter Bleche aus Edelstahl Rostfrei

Bild 13: Walzenbiegen eines Bleches aus Edelstahl Rostfrei

Das **Walzenbiegen** wird genauso durchgeführt wie bei unlegierten Stählen. Der kleinste Zylinderdurchmesser, der sich auf einer Drei-Walzen-Biegemaschiene herstellen läßt, entspricht etwa dem doppelten Durchmesser (für unlegierte Stähle dem eineinhalbfachen Durchmesser) der Innenwalze.

Das **Biegen von Rohren** erfordert die gleichen Vorsichtsmaßnahmen wie bei unlegierten Stählen. Werden die Rohrwandungen nicht abgestützt, dann sollte der kleinste Biegeradius (bezogen auf die Achse des Rohres) mindestens dem sechsfachen Außendurchmesser entsprechen. Das freie Biegen kann nur für kleinkalibrige oder dickwandige Rohre empfohlen werden.

Auch das **Streckbiegen** läßt sich bei Rohren anwenden. Man vermeidet Verwerfungen, wenn an der Innenseite des Bogens ausreichend hohe Zugspannungen angreifen, so daß dort während des Biegens keine Druckspannungen auftreten.

Füllt man die Rohre vor dem Biegen, so beträgt der kleinste Radius für das freie Biegen etwa das Vierfache des Außendurchmessers, der größte Biegewinkel etwa 60°. Auf Biegevorrichtungen können Rohre zu vollen Kreisen oder Wendeln gebogen werden, deren Biegeradien dem sechsfachen Außendurchmesser des Rohres entsprechen.

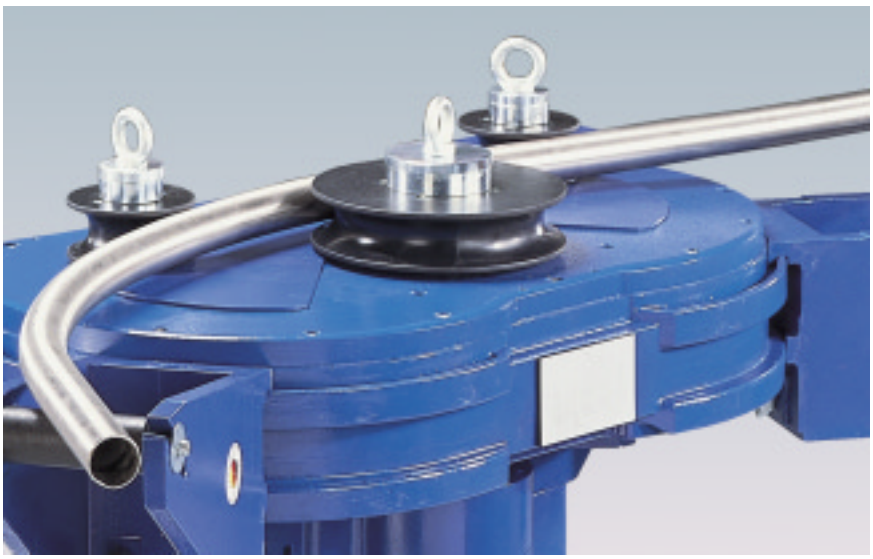


Bild 14 + 15: Eine Walzenbiegemaschine ist ideal für große Radien

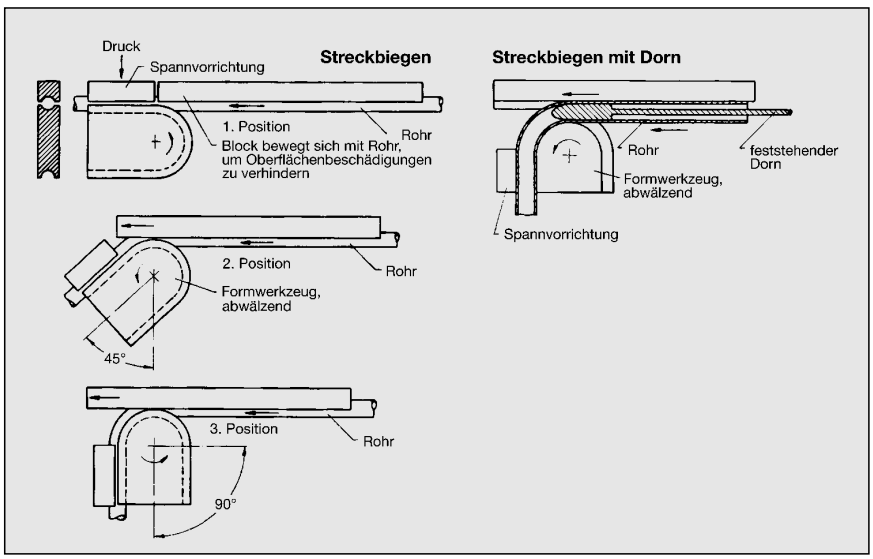


Bild 16: Das Streckbiegen von Rohren kann mit und ohne Dorn erfolgen

Umlaufbiegemaschinen können eingesetzt werden, wenn kleinere Biegeradien gefordert sind. Wird das Rohr durch einen Dorn von innen abgestützt, so lassen sich zum Beispiel bei Rohren mit 25 mm Durchmesser auf Wanddicken von 1,5 bis 1,0 mm Krümmer mit Biegeradien bis herab zum eineinhalbfachen Außendurchmesser herstellen. **Bild 16** veranschaulicht das Rohrbiegen.

5 Wärmebehandlung und Warmformgebung

5.1 Wärmebehandlung

Das **Weichglühen** dient zum Aufheben der Kaltverfestigung. Während das Weichglühen der unlegierten und der vergütbaren legierten Stähle aus einem Erwärmen auf erhöhte Temperaturen mit nachfolgendem langsamen Abkühlen besteht, erzielt man ein vollständiges „Weichwerden“ der austenitischen Edelstähle nur durch Erwärmen auf relativ hohe Temperaturen (gewöhnlich 950 – 1.100°C) mit rascher Abkühlung (Wärmebehandlungszustand „abgeschreckt“).

Die ferritischen Edelstähle werden auf 750 bis 800°C erwärmt und langsam abgekühlt.

Wichtig ist es, die Oberflächen vor dem Erwärmen sorgfältig von allen Öl-, Fett- und Schmutzresten zu reinigen.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß eine Haltezeit von 1 min je 2,5 mm Wanddicke ausreicht.

Dünnwandige Werkstücke können an Luft abkühlen. Dickwandige Werkstücke müssen mit Gebläse abgekühlt oder in Wasser abgeschreckt werden.

Wärmebehandlungen unter Schutzgas vermeiden Verzunderungen, so daß Nachbehandlungen zur Wiederherstellung einer zunderfreien Oberfläche entfallen können.

5.2 Warmformgebung (Schmieden)

Bei der Warmformgebung sind die geringere Wärmeleitfähigkeit – besonders der austenitischen Edelstähle – und vor allem die höhere Warmfestigkeit gegenüber den unlegierten Stählen zu berücksichtigen. Der Einwärmungsvorgang muß daher langsamer und durchgreifend erfolgen (doppelte Wärmezeit), damit keine Risse entstehen.

Der Schwefelgehalt der Heizgase ist so gering wie möglich zu halten, die Ofenatmosphäre soll immer leicht oxidierend sein. Oberflächenfehler auf den Brammen und Knüppeln sind vorher zu beseitigen, da solche Fehler beim Wärmungsformen nicht verschweißen.

Beim Hammerschmieden erhöht man gegenüber dem unlegierten Stahl die Schlagzahl etwa um 25 %. Beim Gesenkschmieden verringert sich die Lebensdauer der Gesenke um etwa 25 %. Bei Mehrfachgesenken kommt der Gesenkform erhöhte Bedeutung zu, da sie einen gleichmäßigen Fluß des Materials ermöglichen muß.

Die für die einzelnen Qualitäten vorgeschriebenen Schmiedetemperaturen darf man weder übernoch unterschreiten, um Warmrisse und Schälchenbildung bzw. örtliche Spannungen mit Rißbildung zu vermeiden. Sie liegen je nach Sorte zwischen 1.150 und 750°C.

Langsames Abkühlen nach dem Warmumformen ist (wegen der Gefahr einer Karbidausscheidung im Bereich von 750 bis 600°C) vor allem dann zu vermeiden, wenn die Teile nicht mehr geglüht werden.

6 Schweißen

Die austenitischen Edelstähle lassen sich mit nahezu allen in der Praxis üblichen Verfahren schmelz- und widerstandsschweißen. Nur vom Gasschweißen (Sauerstoff-Azetylen) ist abzuraten.

Detaillierte Informationen über die Verfahren gibt die Broschüre „Schweißen von Edelstahl Rostfrei“ (Merkblatt 823 der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei).

Im allgemeinen werden die für unlegierte Stähle vorhandenen Anlagen und Maschinen verwendet.

Die Schweißzusatzwerkstoffe entsprechen weitgehend den Grundwerkstoffen, sind jedoch verfahrensbedingt modifiziert. Ihre Zusammensetzung ist so abgestimmt, daß sie bei ordnungsgemäßer Handhabung ein weitgehend artgleiches, einwandfreies Schweißgut ergeben.

Die ferritischen Edelstähle können grundsätzlich nach den gleichen Verfahren geschweißt werden wie die austenitischen Edelstähle.

Bei Schweißverbindungen unterschiedlicher austenitischer Edelstahlsorten (z.B. 1.4301 mit 1.4401) genügt im allgemeinen der

Werkstoffnummer	Schweißeignung
1.4301	bis 6 mm Blechdicke bzw. 20mm Durchmesser[1)]
1.4541	ohne Einschränkung
1.4401	bis 6 mm Blechdicke bzw. 20mm Durchmesser[1)]
1.4571	ohne Einschränkung
1.4016	eingeschränkt [2)]
1.4511	ohne Einschränkung
1.4003	ohne Einschränkung
1.4512	ohne Einschränkung
Schwarz-Weiß-Verbindungen sind bei allen Schmelzschweiß-Verfahren möglich	

[1)] Größere Abmessungen erfordern Wärmenachbehandlung (Lösungsglühen)

[2)] Vorwiegend zum Schweißen mit Verfahren, die ein geringeres Wärmeeinbringen verursachen, wie Punkt- und Rollnahtschweißen; Schweißen mit Zusätzen stellt die Ausnahme dar.

Tabelle 10: Schweißeignung

Stahlsorte		Legierungstyp des Schweißzusatzes
Kurznamen	Werkstoff-Nummer	
X5CrNi18-10	1.4301	19 9 L
X6CrNiTi18-10	1.4541	19 9 L 19 9 Nb
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	19 12 3 L
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	19 12 3 L 19 12 3 Nb
X2CrNiMo18-14-3	1.4435	19 12 3 L 18 16 5 N L
X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	18 16 5 N L
X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539	20 25 5 Cu N L
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	22 9 3 N L
X2CrNi12	1.4003	18 8 Mn [1)] 19 9 L
X6Cr17	1.4016	19 9 L 19 9 Nb
X3CrNb17	1.4511	19 9 Nb 19 9 L 18 8 Mn [1)]
X2CrTi12	1.4512	19 9 L 18 8 Mn [1)]

[1)] mit abgesenktem C-Gehalt: C ≤ 0,10 %.

Zum Schweißen der Mo-freien Stähle 1.4301 und 1.4541 können allgemein auch die für die Mo-legierten Stähle 1.4401, 1.4571 und 1.4435 genannten Schweißzusätze angewendet werden.

1. Umhüllte Stabelektroden nach DIN EN 1600

Bezeichnung: z.B. E 19 12 3 L R oder E 19 12 3 L B.
R = rutilumhüllt, B = basisch umhüllt

2. Drahtelektroden, Drähte und Stäbe nach DIN EN 12072

Drahtelektrode mit Si ≤ 0,65 % zum Schutzgasschweißen: z.B. G 19 12 3 L
Drahtelektrode mit Si > 0,65 % bis 1,2 % zum Schutzgasschweißen: z.B. G 19 12 3 L Si
Drahtelektrode mit Si ≤ 0,65 % zum UP-Schweißen: z.B. S 19 12 3 L
Stab oder Draht mit Si ≤ 0,65 % zum WIG-Schweißen: z.B. W 19 12 3 L
Stab oder Draht mit Si > 0,65 % bis 1,2 % zum WIG-Schweißen: z.B. W 19 12 3 L Si

3. Fülldrahtelektroden nach DIN EN 12073

a) schlackebildende Typen:
Kennzeichen R: rutil, langsam erstarrende Schlacke, für Positionen PA und PB
Kennzeichen R: rutil, schnell erstarrende Schlacke, für alle Schweißpositionen

b) schlackeloser Typ:
Kennzeichen M: Metallpulver
Bezeichnung für eine Fülldrahtelektrode mit schnell erstarrender Schlacke: z.B. T 19 12 3 L P M
M für Mischgas

Tabelle 11: Zuordnung von Legierungstyp des Schweißzusatzes zum Grundwerkstoff

für den weniger hoch legierten Grundwerkstoff geeignete artgleiche Schweißzusatzwerkstoff.

Sogenannte „Schwarz-Weiß-Verbindungen“, das sind Schweißverbindungen von nichtrostenden Stählen mit unlegierten und niedriglegierten Stählen, sind möglich (siehe **Tabelle 10**). Derartige Verbindungsstellen sind außerhalb des eigentlichen Korrosionsbereichs zu halten oder der für unlegierte Stähle vorgesehene Korrosionsschutz ist bis über den Schweißnahtbereich hinaus aufzubringen.

6.1 Schweißeignung und Vorbereitungen

Über die Schweißeignung der meist verwendeten nichtrostenden Stähle gibt **Tabelle 10** Auskunft. Geeignete Schweißzusatzwerkstoffe sind in **Tabelle 11** aufgeführt.

Gegenüber den unlegierten Stählen sind für das Schweißen austenitischer Edelstähle folgende Abweichungen zu beachten:

- Der Wärmeausdehnungskoeffizient ist etwa 50 % größer.
- Die Wärmeleitfähigkeit ist etwa 50 % geringer.
- Der elektrische Widerstand ist etwa sechsmal größer.

Diese Unterschiede beeinflussen die Wahl und die Durchführung des Schweißverfahrens. Sie erfordern das Arbeiten mit deutlich niedrigeren Stromstärken.

Bei den austenitischen Edelstählen besteht keine Gefahr der Aufhärtung. Um Verzug und Verzunderung gering zu halten, sollte mit möglichst geringem Wärmeeinbringen geschweißt werden. Damit werden auch schmale Schweißnähte mit engen Anlauffarbenbereichen erreicht, die weniger Nacharbeit erfordern.

Es empfiehlt sich, die austenitischen Edelstähle wegen ihres relativ hohen Wäremausdehnungskoeffizienten vor dem Schweißen ausreichend fest zu spannen. Klammern und Unterlagen aus Kupfer erleichtern das Abfließen der Wärme und begünstigen das Durchschweißen, wenn nur von einer Seite geschweißt wird. Andernfalls müssen Heftschweißungen – und zwar mehr als bei unlegierten Stählen üblich – vorgenommen werden.

Bei dünnen Blechen genügen leichte Heftpunkte im Abstand von 25 bis 50 mm. Bei dickeren Blechen können die Heftschweißungen weiter auseinander liegen, müssen aber stark genug sein, um das Werkstück hinreichend gegen Verzug abzustützen.

Für einwandfreie Schweißungen sind von Zunder und Oxiden befreite, metallisch blanke, glatte und fettfreie, saubere Nahtkanten erforderlich.

Bei den ferritischen Edelstählen weichen die physikalischen Eigenschaften zwar nicht so deutlich von denen der unlegierten Stähle ab, jedoch sind bei diesen Edelstählen im Hinblick auf die Bildung von Chromkarbiden und Grobkorn beim Schweißen das Wärmeeinbringen und die Größe des Schmelzbades möglichst gering zu halten (Deshalb ist in **Tabelle 10** auf die eingeschränkte Schweißbarkeit des Edelstahls 1.4016 bereits hingewiesen worden). Bei den Edelstählen 1.4511, 1.4003 und 1.4512 wird die Karbidbildung durch die Stabilisierungselemente Titan bzw. Niob oder durch den niedrigen Kohlenstoffgehalt unterdrückt.

6.2 Lichtbogenhandschweißen mit umhüllter Stabelektrode

Zum Lichtbogenhandschweißen werden Elektroden mit rutilhaltiger oder basischer Umhüllung nach DIN EN 1600 verwendet.

- Elektroden mit rutilhaltiger Umhüllung können mit Gleichstrom oder Wechselstrom geschweißt werden. Diese Elektroden eignen sich für die meisten Verwendungszwecke: Man erzielt eine glattere Oberflächenausbildung der Schweißnaht, und die Schlacke läßt sich in der Regel leichter entfernen als bei Nähten mit basisch umhüllten Elektroden.
- Die basisch umhüllten Elektroden werden vorwiegend mit Gleichstrom geschweißt (Elektrode am Pluspol).

Um Porosität der Schweißnaht zu verhindern, müssen die rutilhaltigen Elektroden trocken gelagert und verarbeitet werden. Ggfs. werden die ausgepackten Elektroden vor dem Schweißen ein bis zwei Stunden in einem Elektrodenofen nach Herstellerangaben rückgetrocknet.

Die Stromstärke wird den Empfehlungen der Hersteller entsprechend gewählt (etwa 20 % geringer als beim Schweißen unlegierter Stähle). Den Lichtbogen hält man kurz. In **Tabelle 12** sind typische Arbeitsbedingungen genannt.

Beim Zünden des Lichtbogens ist die Elektrode leicht über das

Elektrodendurchmesser	Stromstärke in A (Gleich- oder Wechselstrom)	
mm	für Wannen- und Horizontalposition	für Senkrecht- und Überkopfposition
1,5	20… 40	25 … 40
2	30… 60	35 … 55
2,5	45… 90	45 … 65
3,2	70…120	70 … 95
4	100…160	100 …125

Tabelle 12: Arbeitsbedingungen für das Metall-Lichtbogen-Schweißen mit umhüllten Elektroden (Richtwerte). Die Empfehlungen der Elektrodenhersteller auf den Paketen sind zu berücksichtigen

Werkstück zu führen, damit sie nicht festklebt. Am besten wird der Lichtbogen nicht auf der Werkstoffoberfläche, sondern in der Fuge gezündet.

Auf die Durchschweißung der Wurzel ist zu achten; eine Kupferunterlage erleichtert das Durchschweißen. Ggfs. ist das Schweißen einer Gegenlage erforderlich.

Bei Mehrlagenschweißungen müssen vor dem Aufbringen einer neuen Lage mit Bürsten aus nichtrostendem Stahl oder geeigneten Schleifwerkzeugen (**siehe 11.1**) die Schlacken und/oder Anlauffarben der letzten Lage vollständig entfernt werden.

Blechdicke mm	Schweißposition	Durchmesser der Wolframelektrode mm	Durchmesser des Zusatzstabes mm	Stromstärke A
≤ 1,5	Wannenposition	1,6	ca. 1,6	70…105
	Senkrecht- oder Überkopfposition	1,6	ca. 1,6	50… 90
>1,5	Wannenposition	2,4	ca. 2,4	100…150
	Senkrecht- oder Überkopfposition	2,4	ca. 2,4	75…130

Tabelle 13: Arbeitsbedingungen für das WIG-Schweißen von Edelstählen (Richtwerte)

6.3 Schutzgasschweißen

6.3.1 Wolfram-Inertgas-Schweißen (WIG)

Zum WIG-Schweißen von Hand oder mit automatischen Einrichtungen eignen sich sowohl wasser- als auch luftgekühlte Pistolen. Im allgemeinen wird mit Gleichstrom gearbeitet (Elektrode am Minuspol).

Zum Zünden des Lichtbogens wird dem Schweißstrom ein hochfrequenter Strom überlagert. Dadurch wird verhindert, daß die Elektrode das Werkstück berührt.

Bild 17: Im Apparate- und Behälterbau ist eine sorgfältige Schweißnahtausführung von besonderer Bedeutung. Das WIG-Schweißen kann mit automatischen Einrichtungen oder von Hand erfolgen

Als Schutzgas dient Schweißargon (99,95 %). Zum Erhöhen der Schweißgeschwindigkeit und zur Erzielung glatter Raupenoberflächen können für austenitische Edelstähle beim maschinellen WIG-Schweißen auch handelsübliche Argon-Wasserstoff-Mischgase verwendet werden.

Damit Luft nicht zu den vom Lichtbogen erwärmten Bereichen zutreten kann oder durch Turbulenzbildung an die erwärmten Bereiche herangeführt wird, sind Argon-Durchflußmengen von 6 bis 12 l/min üblich. Bei Arbeiten im Freien sollte der Arbeitsplatz gegen Zugluft abgeschirmt werden.

Um die Wurzel vor Oxidation zu schützen, verwendet man Formiergas oder Schweißargon zur Gegenspülung. Beim Schweißen dünner Bleche unterlegt man zur besseren Wärmeableitung eine Kupferschiene.

Wolframelektroden mit Thorium- oder Zirkonzusätzen besitzen eine höhere Lebensdauer als Wolframelektroden ohne Zusätze.

Die Schweißpistole wird genauso gehandhabt wie beim Schweißen unlegierter Stähle.

Die Schweißnähte müssen ebenso wie die Heftschweißungen vor dem Weiterschweißen – auch nach kur-

zen Unterbrechungen der Schweißarbeiten – sorgfältig mit Stahlwolle oder Drahtbürsten aus nichtrostendem Stahl von anhaftenden Oxiden befreit werden. Typische Schweißbedingungen können der **Tabelle 13** entnommen werden.

6.3.2 Metall-Aktivgas-Schweißen (MAG)

Beim MAG-Verfahren ist je nach Blechdicke das Arbeiten mit Kurz-, Impuls- oder Sprühlichtbogen üblich:

- bis ca. 2,5 mm Kurzlichtbogen
- > 2,5 mm Impulslichtbogen
- < 4 mm Impuls- oder Sprühlichtbogen.

Je nach Anwendungsfall sind Elektroden mit einem Durchmesser zwischen 0,8 und 1,6 mm zu wählen. Üblicherweise wird mit Gleichstrom (Elektrode am Pluspol) gearbeitet.

Für das MAG-Schweißen von Stumpfnähten an Blechen von etwa 6 bis 25 mm Dicke sind erforderlich:

- Gleichstrom-Maschine mit mindestens 400 A (u.U. 600 A)
- Schweißargon mit 1 bis 3 % O_2 oder mit 2,5 % CO_2
- Vorrichtung zum Spannen der Werkstücke
- Drahtelektroden nach DIN EN 12072.

Auf Sauberkeit von Drahtelektroden und Nahtkanten ist zu achten, da Verschmutzungen das Schweißbad verunreinigen und Poren verursachen können.

6.4 Sonstige Schmelzschweißverfahren

Andere Schmelzschweißverfahren, wie Unterpulverschweißen, Plasmaschweißen und Laserstrahlschweißen, eignen sich ebenfalls für nichtrostende Stähle, werden jedoch meistens in Groß- oder Spezialbetrieben und bei Serienfertigung angewendet.

Das **Plasmalichtbogenschweißen** lässt sich für Werkstücke bis 10 mm Dicke ohne Zusatzwerkstoffe einsetzen; die Kanten werden stumpf gestoßen. Das Verfahren wird in der Regel nur maschinell angewendet und ermöglicht hohe Schweißgeschwindigkeiten. Als Plasma- und Schutzgas werden Argon bzw. Argon-Wasserstoff wendet.

Das **Mikro-Plasma-Schweißen** eignet sich besonders für sehr dünne Bauteile (Wanddicken von 0,1 bis 1,0 mm), die sich mit dem WIG-Verfahren kaum noch schweißen lassen.

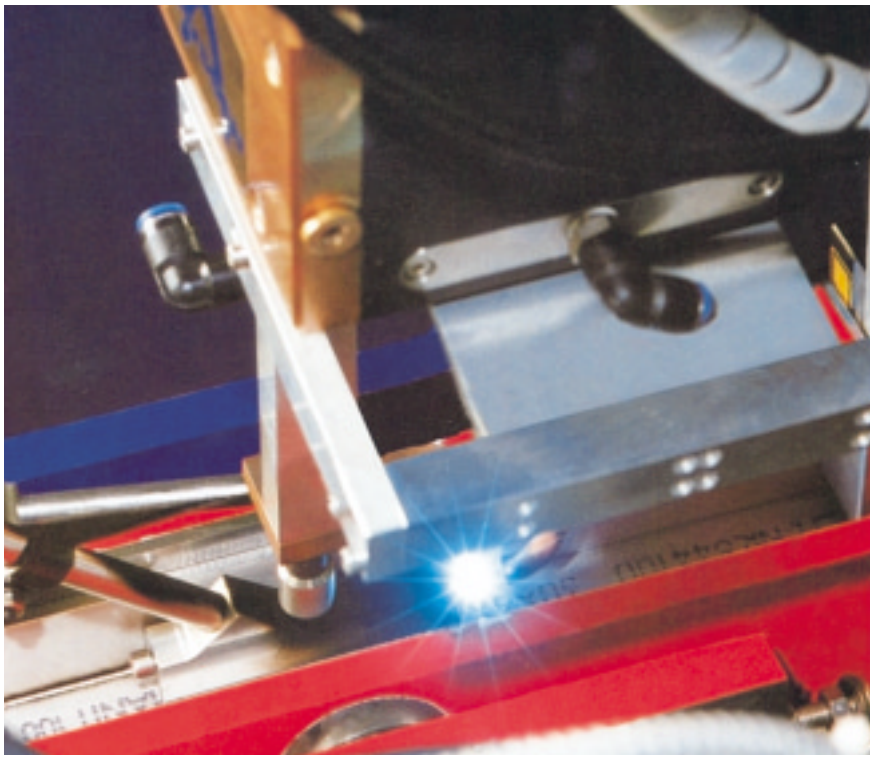


Bild 18: Das Laserstrahlschweißen hat sich als neues, leicht automatisierbares Fügeverfahren etabliert

Das **Laserstrahlschweißen** hat sich als neues, automatisierbares Fügeverfahren etabliert. Durch fokussierte Laserstrahlung wird das Metall lokal eng begrenzt aufgeschmolzen und durch Erzeugung einer Dampfkapillare (Keyhole) ein Tiefschweißeffekt erzeugt. Die erzielten Schweißnähte sowie die Wärmeeinflußzone sind daher sehr schmal, es entsteht kaum thermischer Verzug bei guter Umformbarkeit. Durch die Anwendung von Hochleistungslasern können Blechdicken von 15 mm und mehr verschweißt werden.

6.5 Widerstandsschweißen (Punkt- und Rollnahtschweißen)

Da nichtrostende Stähle einen verhältnismäßig hohen elektrischen Widerstand haben, sind zum Widerstandspreßschweißen geringere Stromstärken erforderlich als bei unlegierten und niedriglegierten Stählen, etwa 75 % bei austenitischen Edelstählen. Sie eignen sich daher gut für das Schweißen nach diesem Verfahren.

Wegen des großen Übergangswiderstandes und der hohen Festigkeit der nichtrostenden Stähle müssen die Elektroden stärker angepreßt werden. Die Anpreßkraft muß eineinhalb- bis zweimal so groß sein als bei unlegierten Stählen. Dies erfordert Widerstandselektroden mit hoher Warmfestigkeit, damit sie sich nicht aufstauchen.

Bei austenitischen Edelstählen empfiehlt es sich, die Elektroden mit Wasser zu kühlen. Auch das Werkstück kann beim Schweißen mit Wasser gekühlt werden.

Blechdicke mm	Spitzen-durchmesser der Elektrode mm	Anpreßkraft der Elektrode N	Stromstärke A	Schweißzeit Hz	Mindest-abstand der Schweißpunkte mm
0,5	4,0	1500	4300	7	10
1,0	5,0	2000	5000	10	15
1,25	5,5	2750	6000	14	20
1,5	6,5	3500	7200	18	25
2,0	7,0	4250	8400	21	30
2,5	8,0	5250	10000	25	40
3,0	9,0	6750	12000	31	50

Tabelle 14: Arbeitsbedingungen für das Widerstands-Punktschweißen (Richtwerte)

Blechdicke mm	Elektroden-breite mm	Anpreßkraft der Elektrode N	Stromstärke A	Einschaltdauer Hz unter Strom	 nur angepreßt (ohne Strom)	Vorschub mm/min.
0,5	4,0	4000	8000	1	2	1500
1,0	5,0	4500	10500	1	3	1300
1,25	5,0	5250	11500	2	6	1100
1,5	6,5	6000	13000	3	6	1000
2,0	7,0	6750	14000	4	8	900
2,5	8,0	7500	16000	5	8	750
3,0	9,0	8250	18000	5	10	750

Tabelle 15: Arbeitsbedingungen für das Widerstands-Rollnahtschweißen mit überlappender Naht (Richtwerte)

Die zu schweißenden Flächen müssen sauber und zunderfrei sein. Die **Tabellen 14 und 15** enthalten Arbeitsbedingungen für das Widerstands-Punkt- und -Rollnahtschweißen.

6.6 Bolzenschweißen (WPL)

Beim Bolzenschweißen werden stiftförmige Teile mit flächigen Werkstücken durch Preßschweißen verbunden. Die verschiedenen Bolzenschweißverfahren sind wegen der geringen Schweißzeit und der damit verbundenen geringen Wärmeeinbringung für das Anbringen von Befestigungselementen gut geeignet. Selbst bei 0,8 mm dicken Blechen verursachen auf die Rückseite geschweißte M4-Gewindestifte keine merkliche Beeinträchtigung der Vorderseite.

Die Arbeitsunterlage für die Bleche muß hart und elektrisch nichtleitend sein. Dabei genügt es bei einer Metallunterlage, eine dünne Zwischenlage zur Isolierung aufzulegen. Um auf der Sichtseite ein Einfallen der Schweißstelle zu vermeiden, empfiehlt es sich, z. B. in der Architektur, bei Blechdicken bis 2,0 mm M4-Gewindebolzen zu verwenden. Richtwerte für Blechdicken bis 2,0 mm:

Bolzen	Lade-Spannung V	Feder-druck %	Spalt mm
M 4	165	50	2,5

6.7 Nachbehandlung von Schweißnähten

Zur Erzielung bester Korrosionsbeständigkeit ist es erforderlich, die Schweißnähte und die beeinflußten Zonen von Schlackenresten, Schweißspritzern, Anlauffarben oder anderen Oxidationsprodukten zu reinigen. Je feiner und glatter die Oberfläche, desto größer ist die Korrosionsbeständigkeit.

6.7.1 Mechanische Nachbehandlung

Zum Entfernen von Anlauffarben und Zunder kommen Bürsten, Schleifen, Polieren oder Strahlen in Betracht. Die Schleif- und Strahlmittel müssen eisenfrei sein, d.h. sie dürfen auch nicht vorher zum Bearbeiten unlegierter Stähle verwendet worden sein.

Nach dem Strahlen sollte zum Erzielen einer guten Korrosionsbeständigkeit ein anschließendes Beizen angewendet werden. (Einzelheiten zum Strahlen unter **Kap. 11.1**)

6.7.2 Chemische Nachbehandlung

Zum Entfernen von Anlauffarben und Zunder verwendet man handelsübliche Beizbäder oder Beizpasten. Säurereste dürfen keinesfalls zurückbleiben (besonders nicht bei Spalten und Hohlräumen).

Nach der Beizbehandlung muß mit Wasser kräftig nachgespült werden. (Einzelheiten unter **Kap. 11.2.1**)

7 Löten

7.1 Hartlöten

Hartlötverbindungen lassen sich mit niedrig schmelzenden Silberloten und zugehörigen Flußmitteln gut durchführen. Es wird mit weicher Flamme gearbeitet; punktförmige Erhitzung bzw. Überhitzung ist zu vermeiden.

Die zu verbindenden Flächen sind chemisch oder mechanisch aufzurauhen. Der Lötspalt soll 0,1 mm, die Überlappung mindestens 2 mm betragen. Für das Verbinden von größeren Spaltabständen (ca. 0,5 bis 1,5 mm) werden auch Fugenlötmittel angeboten, die bei guten Festigkeitseigenschaften stabile Lötverbindungen ergeben.

Zum Hartlöten werden Silberlote mit 35 – 56 % Silber, vorzugsweise AG 56 nach DIN 8513 mit Flußmittel F-SH 1 nach DIN 8511, eingesetzt. Bei Teilen für die Lebensmittelindustrie dürfen nur cadmiumfreie Silberlote eingesetzt werden.

Die beim Hartlöten entstehenden Anlauffarben müssen durch Beizen oder Bürsten entfernt werden (siehe **Kap. 11**). Durch ausreichendes Benetzen und geschickte Wärmeeinbringung können Anlauffarben jedoch fast vollständig vermieden werden.

7.2 Weichlöten

Nichtrostende Stähle lassen sich mit Lötzinn (L-SnAg5 oder L-Sn 60 Pb nach DIN 1707) weich-

Bild 19: Edelstahl Rostfrei ist auch unter handwerklichen Praxisbedingungen problemlos und ergebnissicher lötbar

löten, wenn man aggressive Flußmittel (F-SW11, S-SW21 nach DIN 8511) benutzt.

Die zu verbindenden Oberflächen müssen gereinigt und metallisch blank gemacht werden. Da die nichtrostenden Stähle Wärme schlechter leiten als Kupfer oder Eisen, sind örtliche Überhitzungen zu vermeiden. Für den Lötspalt gilt das gleiche wie beim Hartlöten. Die Überlappung soll 6 mm betragen.

Für Hart- und Weichlöten gilt: Bei geschliffenem Material soll die Schleifrichtung in Flußrichtung liegen. Der Lötspalt darf sich in Flußrichtung nicht vergrößern. Er muß konstant sein oder sich leicht verengen.

8 Kleben

Für kaltgewalzte Bleche und Bänder ist das Kleben ein gutes Fügeverfahren, zumal keine Anlauffarben entstehen. Man unterscheidet zwischen kalt- und warmaushärtenden Klebern.

Die Bleche brauchen keine spezielle Vorbehandlung; ein Aufrauhen ist nicht erforderlich. Es ist lediglich darauf zu achten, dass die zu verklebenden Flächen absolut frei von Schmutz, Fett und Ölrückständen sind.

Bei der Verarbeitung von Blechen aus nichtrostendem Stahl kommt weitgehend das Kaltkleben in Frage. Kaltkleber sind flüssig und pastös; sie werden mit dem Härter unmittelbar vor Gebrauch vermischt.

Kaltkleber (bei etwa 20°C Raumtemperatur) sind meistens Zweikomponentenkleber, die drucklos bzw. mit geringerem Druck aushärten. Erhöhung der Temperatur kürzt, Herabsetzung der Temperatur verlängert die Aushärtezeit. Eine gewisse Andruckkraft ist wünschenswert, um den Kleber sparsam zu verarbeiten und ein gutes Anliegen der zu klebenden Flächen zu gewährleisten.

Die Aushärtezeit der Kaltkleber liegt zwischen 6 Stunden und 3 Tagen. Bei speziellen Klebern wird 40 – 50 % der Endfestigkeit bereits nach 1 – 2 Stunden erreicht. Diese schnellhärtenden Kleber haben jedoch den Nachteil einer kurzen „Topfzeit“, d.h. sie müssen nach dem Ansetzen der Mischung in kurzer Zeit (20 – 60 Minuten) verarbeitet werden.

Ist man auf lange Laufzeit, aber kurze Aushärtezeit angewiesen, verwendet man einen langsam härtenden Kaltkleber und beschleunigt die Aushärtung bei etwas erhöhten Temperaturen zwischen 60 und 100 °C.

Warmkleber sind entweder Epoxidharze, die unter Druck bei Wärmezufuhr zu einem Kunststoff aushärten, oder Phenolharze, bei denen durch Druck und Wärme eine Kondensationsreaktion erfolgt. Beide Klebearten ergeben hohe mechanische Festigkeit und geringe Wärmeempfindlichkeit.

Warmkleber härten bei 100 – 200°C. Die Aushärtezeiten betragen 20 Minuten bis 6 Stunden. Das Warmkleben kommt in der Regel nur bei einer Serienfertigung in Betracht, da relativ hohe Investitionen für Trockenöfen oder andere Aushärtevorrichtungen erforderlich sind.

Auftragen des Klebstoffes: Bei kleinen Teilen bzw. Flächen als Tropfen mit einem Glasröhrchen oder Glasstab; bei größeren Flächen mit dem Pinsel, wenn es auf gleichmäßigem, dünnen Auftrag ankommt. Bei sehr großen Flächen ist das Auftragen mit Pistole zu empfehlen. Wenn eine dickere Klebeschicht erforderlich ist, wird mit dem Spachtel aufgetragen. Gut geeignet ist ein Kammspachtel mit flacher Einkerbung in der Vorderkante. Für das Einbringen von Klebern in Fugen und Rillen benutzt man eine Presse.

Mindestzugscherfestigkeit bei einwandfreier Verklebung von Blechen aus nichtrostendem Stahl: 10 N/mm^2.

Besteht bei geklebten Konstruktionen die Gefahr einer Schälwirkung, so sollten Sicherungsschrauben oder -nieten angebracht werden.

9 Nieten

Nietlöcher können gebohrt oder gestanzt werden; hierfür ist ein Aufmaß von 0,4 mm vorzusehen. Bei der Konstruktion und Ausführung ist große Sorgfalt erforderlich, da sich Fehler nicht so einfach korrigieren lassen wie bei unlegierten Stählen. Die Verwendung eines Durchschlages oder eines Dornes ist unzweckmäßig. Vor dem Nieten sind von den Blechen Grate, Späne und Verunreinigungen zu entfernen.

Verwendet werden Voll- und Hohlpopniete aus nichtrostendem Stahl oder NiCu 30 Fe, wie im Handel erhältlich.

10 Druckfügen

Bleche aus nichtrostendem Stahl können nach allen Druckfügeverfahren entsprechend DIN 8593, Teil 5, gut verarbeitet werden. Diese verlangen vom Werkstoff in erster Linie gutes Dehnverhalten, das die austenitischen Edelstähle in großem Ausmaß besitzen (siehe **Tabelle 4**).

Auch die etwas geringeren Werte der ferritischen Edelstähle genügen, um einwandfreie Verbindungen durch Druckfügen herzustellen. Da die Verbindung durch Kaltpressen hergestellt wird, entsteht bei den austenitischen Edelstahl-Blechen eine hochbelastbare Verbindung.

11 Oberflächenbehandlung der Fertigerzeugnisse

Die mechanische wie chemische Oberflächenbehandlung nach der Bearbeitung von Teilen aus nichtrostendem Stahl ist immer dann erforderlich, wenn durch die Vorbehandlung die Gefahr gegeben ist, dass dadurch die Korrosions-

beständigkeit vermindert wurde. Das kann durch Zunder oder Anlauffarben möglich werden, aber auch – evtl. nicht sofort erkennbar – durch Fremdeisen, das später zu Fremdrost wird.

Werden hohe Anforderungen an das optische Erscheinungsbild gestellt, so sind zwar prinzipiell die gleichen Behandlungen durchzuführen, jedoch kann der notwendige Aufwand sehr unterschiedlich sein. Daher empfiehlt es sich, rechtzeitig eine Absprache über das geforderte endgültige Aussehen herbeizuführen.

11.1 Mechanische Oberflächenbehandlung (Schleifen, Polieren, Strahlen)

Da die Wärmeleitfähigkeit von austenitischen Edelstählen geringer ist als bei unlegiertem Stahl, darf nicht mit zu großem Andruck gearbeitet werden, sonst könnte wegen örtlicher Erwärmung das Material anlaufen oder sich verwerfen. Die Schleif- und Strahlmittel müssen eisenfrei sein, um Fremdrost zu vermeiden. Für Schleifscheiben, Schleifbänder oder Schleifkorn dürfen also nur eisenoxidfreie Schleifmittel verwendet werden.

Schleifscheiben oder -bänder sowie Strahlmittel, die für Teile aus unlegiertem Stahl verwendet werden, dürfen nicht auch für Edelstahl Rostfrei benutzt werden, da sie Fremdrost verursachen.

Für das Nacharbeiten von Schweißnähten benutzt man Handschleifmaschinen mit Schleifscheiben oder Schleifsteinen. Die Körnung sollte zwischen 16 und 46 liegen, die Umlaufgeschwindigkeit bei 30 m/s. Die Nahtstelle wird dann mit feinerer Körnung (Stufung 80 – 120 – 180) geglättet. Hierzu können auch Bandschleifgeräte verwendet werden.

Für **Fertigschliffe** sind die Kornabstufungen 80 – 120 – 180 – 240, ggfs. auch 320 oder noch feinere, üblich. Die Körnung richtet sich oft nach optischen Gesichtspunkten. Je nach gewünschtem Aussehen sind dabei die unterschiedlichen Schleifverfahren (Trocken-, Naß-, Ölschliff) zu berücksichtigen. Die Schleifgeschwindigkeit darf 40 m/s nicht überschreiten, weil sonst starke Erwärmung auftritt. Für die Bearbeitung großflächiger Teile sind Schleifautomaten üblich. Kräftige und schwingungsfreie Vorrichtungen helfen, Rattermarken zu vermeiden.

Hochglanzpolitur läßt sich nur auf unstabilisierten Edelstählen erreichen. Für großflächige Bauteile in der Architektur sind die nahezu unvermeidlichen Reflexionsverzerrungen zu beachten.

Durch Strahlen lassen sich matte, nicht richtungsorientierte Oberflächenstrukturen herstellen. Es dürfen nur Glasperlen, Glasbruch, Edelstahlkorn oder eisenfreier Quarzsand verwendet werden. Reste anderer Strahlmittel sind vor dem Strahlen von Edelstahl sorgfältig aus den Strahleinrichtungen zu entfernen, damit es nicht zu Fremdrost kommen kann.

Bild 20: Handschleifmaschinen werden insbesondere für das Nacharbeiten von Schweißnähten verwendet

Nr.	Arbeitsfolge Bezeichnung	Bemerkungen	Empfohlenes Schleifmittel	Körnung	Umfangs-geschwindigkeit m/min.
1a	Putzschleifen	Voroperation für rauhe Schweißnähte; nur für sehr grobe Arbeiten; Nacharbeit entsprechend Arbeitsfolge 1b oder 60er Korn wird empfohlen	Vorzugsweise Schleifscheibe in Hartgummi- oder Kunstharzbindung	24/36	1200...1800
1b	Vorschleifen	Anfangsposition an dicken Blechen, warmgewalzten Blechen oder glatten Schweißnähten	Schleifscheibe in Hartgummi- oder Kunstharzbindung Pließtscheibe Schleifband, wenn es die Form zuläßt	Wenn 36er Korn erforderlich ist muß mit 60er Korn nachgeschliffen werden.	1200...1800
2	Fertigschleifen	Übliche Anfangsoperation für kaltgewalztes Blech oder Band	Schwabbelscheibe (Tuchscheibe) Pließt- oder Gummischeibe Schleifband, wenn es die Form zuläßt	80/100	1500...2400
3a	Feinschleifen	Die Oberflächengüte entspricht etwa derjenigen von Walzenmaterial in Verfahren 1G oder 2G	Schwabbelscheibe (Tuchscheibe) Pließtscheibe Schleifband, wenn es die Form zuläßt	120/150	1500...2400
3b		Vorbereitungsmaßnahme für das Herstellen normaler Politur im Anschluß an Arbeitsfolge 3a	Schwabbelscheibe (Tuchscheibe) Pließtscheibe Schleifband, wenn es die Form zuläßt	180	1500...2400
3c		Zwischenoperation für das Herstellen normaler Politur im Anschluß an Arbeitsfolge 3b	Polierscheibe Schleifband, wenn es die Form zuläßt	240er Fertigschleifpaste für Pließtscheibe oder 240er Schleifband	2400...3000 Schleifband etwa 1500
4	Bürsten	Zum Herstellen eines glatten, matten Seidenglanzes. Durch Bürsten im Anschluß an eines der Verfahren erhält man eine Oberflächengüte, die dem Zustand „satiniert“ entspricht. Durch Bürsten feiner (z.B. hochglanzpolierter) Oberflächen lassen sich sehr ansprechende Effekte erzielen. Die Oberflächengüte hängt von der Bürstengeschwindigkeit und dem verwendeten Schleifmittel ab.	Tampico 1G oder 2G	Paste aus Bimssteinpulver oder Quarzmehl mit Öl. Je nach gewünschter Oberflächengüte können auch andere feinkörnige Schleifmittel verwendet werden.	600...1500
5	Polieren oder Läppen	Fertigoperation für das Herstellen normaler Politur im Anschluß an Arbeitsfolge 3c (nach dem Läppen verbleiben noch feine Schleifriefen)	Polierscheibe	Poliermittel für nichtrostende Stähle in Stab- oder Kuchenform	2400...3000
6a	Polieren	Vorbereitungsmaßnahme für das Herstellen hochglanzpolierter Oberflächen im Anschluß an Arbeitsfolge 3c	Polierscheibe	320...400er Fertigpoliermittel in Stab- oder Kuchenform	2400...3000
		Vorbereitungsmaßnahme für das Herstellen von hochglanzpoliertem Band	Polierband	320	etwa 1500
6b	Hochglanzpolieren	Fertigoperation für das Herstellen hochglanzpolierter riefenfreier, spiegelblanker Oberflächen	Polierscheibe	Poliermittel für nichtrostende Stähle in Stab- oder Kuchenform	
7	Strahlen	Fertigoperation für das Herstellen einer matten, nicht richtungsorientierten Oberflächenstruktur	Glasperlen eisenfreier Quarzsand	Verschieden	

Tabelle 16: Empfehlungen für mechanische Oberflächenbearbeitungen

Empfehlungen für die verschiedenen Oberflächenbearbeitungen sind in **Tabelle 16** zusammengefasst.

11.2 Chemische Oberflächenbehandlung

11.2.1 Beizen und Passivieren

Das **Beizen** von nichtrostenden Stählen ist oft eine zwingende Notwendigkeit, um die bei einer Wärmebehandlung entstehenden Zunderschichten oder die sich beim Schweißen bildenden Anlauffarben zu beseitigen und wieder eine metallisch blanke Oberfläche herzustellen und die erforderliche Passivschicht zu erzeugen.

Gebeizt wird in Beizbädern oder mit Beizpasten. Beizpasten sind hauptsächlich zum Entfernen von Anlauffarben und Zunder – z.B. an Schweißnähten – von Bedeutung. Es sollen nur Pasten verwendet werden, die ausdrücklich vom Hersteller als geeignet für nichtrostende Stähle gekennzeichnet sind.

Das **Passivieren**, in der Regel mit einer 20 %-igen Salpetersäure, findet Anwendung, wenn Fremdeisen oder Schleifstäube sicher entfernt werden müssen, ohne dass eine Verzunderung vorliegt. Durch diesen Vorgang, bei dem die Oberfläche nicht angegriffen wird, beschleunigt man die Bildung der Passivschicht, die durch Sauerstoffeinwirkung entsteht und die die Beständigkeit der nichtrostenden Stähle bewirkt.

Sowohl nach dem Beizen als auch nach dem Passivieren ist gut mit Wasser nachzuspülen.

Die Sicherheitsvorschriften für das Arbeiten mit Säuren sind zu beachten. In **Tabelle 17** sind gängige Beiz- und Passivierungslösungen angegeben.

11.2.2 Elektropolieren

Das Elektropolieren (elektrochemisches Polieren) eignet sich besonders für Werkstücke, die nicht mehr mechanisch poliert werden können, wie z.B. dünnwandige oder leicht verbiegbare Teile oder Teile mit komplizierter Form.

Mit diesem Verfahren lassen sich Oberflächen herstellen, die folgende Vorteile bieten:

- metallisch rein
- Einebnung der Oberfläche und Entgratung
- glänzendes Aussehen mit diffus wirkender Reflexion
- verbesserte Korrosionsbeständigkeit
- leicht zu reinigen.

Die verwendeten Elektrolyte sind auf Säurekombinationen, meist auf Basis von Phosphor- und Schwefelsäure mit organischen Zusätzen, aufgebaut.

Für ferritische Edelstähle werden bei hohen Ansprüchen besondere Elektrolyte erforderlich.

11.2.3 Ätzen, Färben

Dekorative Oberflächeneffekte lassen sich durch Tiefätzungen und Färben erzielen. Für diese Arbeiten gibt es Spezialbetriebe mit entsprechenden Einrichtungen.

Neben dem Färben von Fertigteilen besteht die Möglichkeit, Edelstahl Rostfrei in Farbe als einseitig gefärbte kaltgewalzte Bleche zu beziehen und diese zu Fertigprodukten zu verarbeiten. Erhältlich sind Handelsformate in der gesamten Reihe der Spektralfarben inkl. braun und den unter **1.4** genannten Oberflächenausführungen.

Durch spezielle Techniken (z.B. fotochemische Verfahren, Siebdruck) können Muster, Beschriftungen und mehrfarbige Effekte hergestellt werden.

Die gefärbten Edelstahl-Bleche lassen sich unter Beachtung der üblichen Vorkehrungen zum Oberflächenschutz (Schutzfolien) schneiden, stanzen, kanten, biegen, drücken und tiefziehen. Die gefärbten Oberflächen sind korrosionsbeständig, lichtecht und widerstehen Temperaturen bis 200°C.

Bei höheren Temperaturen, wie sie beim Löten oder Schweißen entstehen, werden sie zerstört. Bei geschweißten Fertigteilen kann es vorkommen, dass nach dem Einfärben die Schweißnähte sichtbar werden.

11.2.4 Lackieren

Lackieren ist normalerweise nur für dekorative Zwecke oder für Kennzeichnungen erforderlich.

Da die ferritischen Edelstähle mit rund 11 % Chrom unter atmosphärischen Bedingungen nicht völlig beständig sind, kann deren attraktives Aussehen durch eine Farbbeschichtung sichergestellt werden.

Da die kalthergestellten Erzeugnisse eine besonders glatte Oberfläche, z.B. 2B und 2R (siehe **Tabelle 3**) haben, empfiehlt sich die Verwendung von Primern und/oder ein Aufrauhen durch Schleifen oder Strahlen vor dem Lackieren von Edelstahl Rostfrei. In allen Fällen wird eine gründliche Entfettung vorausgesetzt.

Beizlösung	Salpetersäure (50 %ig) Flußsäure Wasser Badtemperatur Beizdauer	10 … 30 Volumen-% 2,5 … 3 Volumen-% Rest 20 … 40 °C min. 20 Minuten
Passivierungslösung	Salpetersäure Wasser Badtemperatur Passivierungsdauer	10 … 25 Volumen-% Rest 20 … 60 °C etwa 60 Minuten

Tabelle 17: Beiz- und Passivierungslösungen

12 Oberflächenschutz

Für die Verarbeitung werden Bleche aus nichtrostendem Stahl, vor allem wenn sie bereits geschliffen, gebürstet oder gefärbt sind, häufig mit Schutzüberzügen versehen. Das sind meist PE-Folien; PVC sollte man vermeiden.

Je nach der zu erwartenden Beanspruchung während der Umformung können Folien mit unterschiedlicher Klebekraft aufgebracht werden. Die Klebefolien lassen sich bei örtlichen Bearbeitungsvorgängen abziehen und anschließend wieder aufkleben. Auch nach der Verarbeitung können sie nützliche Dienste als Schutz während der Montage vor Kratzern und Verschmutzungen durch Mörtel, Kalk und Farbe bieten.

Je nach Beanspruchung können Folien unterschiedlicher Dicke und UV-Beständigkeit aufgebracht werden. Spätestens nach einem halben Jahr sind die Folien wieder abzuziehen. Auch wenn sich der Oberflächenschutz ohne sichtbare Rückstände entfernen lässt, können Spuren des Klebers verbleiben (siehe **Kap. 13**).

Bleche, die mit Schutzfolie versehen sind, sollte man vor extremen Temperaturen, insbesondere Frost, schützen, denn beim Abziehen der Folie könnten nur sehr schwer zu beseitigende Kleberückstände zurückbleiben.

13 Reinigung und Pflege

Während der Bearbeitung kann ein Reinigungsvorgang erforderlich sein, um einwandfreie Oberflächenbearbeitungen vornehmen zu können oder aber schädliche Einflüsse, z.B. bei einer Wärmebehandlung, zu verhindern. Das werden vor allem Entfettungen sein, die mit den dafür üblichen Mitteln durchgeführt werden.

13.1 Grundreinigung

Nach beendeter Bearbeitung oder Montage sollte immer eine Grundreinigung erfolgen. Dazu gehört auch die Entfernung der Schutzüberzüge (siehe **Kap. 12**). Es genügt nicht nur das einfache Abziehen, sondern man muß auch sorgfältig alle Reste des Klebstoffes entfernen.

Farbspritzer lassen sich mit einem Lösungsmittel (Terpentin bei Ölfarben, sonst Benzol, Toluol oder ähnliche Medien) entfernen. Kalk- oder Zementspritzer sollte man möglichst vor Aushärtung mit einem Holzspan abschaben; keinesfalls hierzu Werkzeuge aus normalen Stahl – Spachtel, Stahlwolle und dergleichen – benutzen (Fremdrost).

Niemals darf Salzsäure – auch nicht als schwache Lösung – verwendet werden. Beim Absäuern von angrenzendem Mauerwerk oder keramischen Bauteilen müssen die Edelstahlflächen geschützt werden.

Bei hartnäckigen Verschmutzungen können hochaktive, jedoch chloridfreie Reinigungsmittel, z.B. auf Phosphorsäurebasis, Anwendung finden, sofern danach ein gründliches Abspülen mit Leitungswasser erfolgt.

13.2 Pflege

Wie oft man reinigen sollte, hängt von Stärke und Art der Verschmutzungen und von den Ansprüchen ab, die man an die optische Beschaffenheit der Bauteile aus Edelstahl Rostfrei stellt.

Teile von Eingangshallen und Schaufenstern wird man ebenso wie das Glas häufiger reinigen. Aber auch Fassadenteile oder Fensterrahmen in höheren Stockwerken sollten, je nach klimatischen oder atmosphärischen Bedingungen, von Zeit zu Zeit oder regelmäßig gesäubert werden.

Mehr Aufmerksamkeit ist den Stellen zu widmen, die der Regen nicht erreicht bzw. wo sich der Schmutz ablagern kann. Dies gilt insbesondere in Gebieten mit Industrieatmosphäre und hoher Luftverunreinigung.

Bei der Anwendung handelsüblicher Reinigungsmittel sind die Gebrauchsanleitungen genau zu beachten. Für alle Reinigungsmittel gilt, daß sie frei von Salzsäure sein müssen.

14 Literatur

Die nachstehenden Broschüren werden von der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei herausgegeben und können kostenlos abgerufen werden:

Informationsstelle Edelstahl Rostfrei
Postfach 10 22 05,
40013 Düsseldorf
Fax 02 11 / 67 07-3 44,
E-mail: info@edelstahl-rostfrei.de

Diese und weitere zahlreiche Publikationen stehen auch im **Internet** als Download zur Verfügung:
www.edelstahl-rostfrei.de

- Edelstahl Rostfrei im **Bauwesen**: Technischer Leitfaden, 4. Auflage 2000 (MB 875)
- **Beizen** von Edelstahl Rostfrei, 1. Auflage 1997 (MB 826)
- Die Verarbeitung von nichtrostenden **Duplex-Stählen**, 1. Auflage 2000 (D 881)
- Edelstahl Rostfrei – **Eigenschaften**, 2. Auflage 1997 (MB 821)
- Erläuterung zur europäischen Norm **DIN EN 10088** „Nichtrostende Stähle“, 2. Auflage 2000 (MB 834)
- Das **Kleben** von Stahl und Edelstahl Rostfrei, 5. Auflage 1998 (MB 382)
- Edelstahl Rostfrei: **Oberflächen** im Bauwesen, 1. Auflage 2000 (D 960)
- **Elektropolieren und Polieren** nichtrostender Stähle, 1. Auflage 1995 (MB 825)
- Die **Reinigung** von Edelstahl Rostfrei, 1. Auflage 1995 (MB 824)
- **Schweißen** von Edelstahl Rostfrei, 3. Auflage 2000 (MB 823)
- **Weichlöten** von Edelstahl Rostfrei in der Klempnertechnik, 1. Auflage 1998 (MB 836)
- Allgemeine bauaufsichtliche **Zulassung Z-30.3-6** „Bauteile und Verbindungselemente aus nichtrostenden Stählen“ vom 3. August 1999 (Sonderdruck 862)

Notizen

Informationsstelle Edelstahl Rostfrei
Postfach 10 22 05
40013 Düsseldorf
www.edelstahl-rostfrei.de